

ECOVOLTAICS OG AGRIVOLTAICS

*- en håndbok om solcelleparker som fremmer
biologisk mangfold og økosystemtjenester*

Norsk oversettelse

Denne håndboken er oversatt med godkjenning av originale forfattere til norsk på oppdrag fra Forneby Norge gjennom forskningsprosjektet ENVISOL. ENVISOL ledes av prosjekteier og koordinator IFE, med forskningspartnerne NINA, NIBIO og NMBU. Les mer om ENVISOL på <https://ife.no/project/envisol/>

Håndboken er oversatt av Multiconsult Norge AS, av:

Torje Evensen	Oppdragsleder og rådgiver Sol og Smart grid, Multiconsult
Sølvi Wehn	Ekspertrådgiver naturressurser, Multiconsult
Lise Hveem Krogsti	Student i praksis hos Multiconsult og student ved NMBU

Denne håndboken er ikke tilpasset norske forhold og alt av region og tidsbestemte referanser er relatert til Sverige. Likevel er den høyst relevant da den omhandler tematikk og resultater også dagsaktuelle i Norge.

Der det forekommer særskilte svenske forhold, som lovverk, etater eller virkemidler, er disse beholdt. Tabellen til høyre gir en kort ordbok for norske ekvivalenter eller tilnærminger til ofte brukte ord og begrep. Tilsvarende er det også beholdt originale henvisninger til valuta.

Metodikk og resultater er uendret, og håndboken i sin helhet er beholdt så lik originalen som mulig i design og innhold.

Multiconsult Norge er ikke ansvarlig for innholdet i håndboken, herunder vurderinger, konklusjoner eller eventuelle feil og mangler. Ved avvik mellom den norske og svenske versjonen er den svenske originalen å anse som gjeldende. Original håndbok kan hentes fra det Digitala Vetenskapliga Arkivet www.diva-portal.org.

Myndigheter og offentlige organ

Svensk betegnelse	Norsk ekvivalent eller lignende
Energimyndigheten	Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
Naturvårdsverket	Miljødirektoratet
Länsstyrelsen	Statsforvalteren / Fylkeskommunen
Jordbruksverket	Landbruksdirektoratet
Boverket	Direktoratet for byggkvalitet (DiBK)
Statistiska Centralbyrån (SCB)	Statistisk sentralbyrå (SSB)
Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)	Norges geologiske undersøkelse (NGU)
Lantmäteriet	Kartverket
SLU Artportalen	Artsdatabanken
Fylkesmann	Statsforvalter

Lovverk og regelverk

Svensk betegnelse	Norsk ekvivalent eller lignende
Artskyddsförordningen	Forskrift om fremmede organismer og Naturmangfoldloven kap. V (arter og leveområder)
Biotopskydd	Utvalgte naturtyper (jf. § 52 i Naturmangfoldloven) eller spesielle hensynssoner i arealplanlegging
Natura 2000	Nettverk av verneområder under Bern- og Ramsarkonvensjonen i EU– omtales i Norge som Nasjonale verneområder
Naturvärdesinventering (NVI)	Standard naturkartleggingsmetodikk: Natur i Norge (NiN) (Tidligere standard: DN-håndbok 13)
MIFO-metodiken (forurensset grunn)	Miljødirektoratets veileder TA-2553 / Forurensset grunn-metodikk
Miljöbalken	Svensk miljølovgivning. I Norge dekket av Naturmangfoldloven, Forurensningsloven, Plan og bygningsloven mm.

Medverkande

RISE

Division Samhällsbyggnad, Energi och resurser

Michiel van Noord – Civilingenjör med inriktning solenergi, projektledare för Eko-Sol och utredare systemlösningar sol.

Sara Ghaem Sigarchian – Forskare, utredare systemlösningar sol.

Malin Unger – Arkitekt och solenergiprojektör, utredare solinstrålningsanalyser

Division Bioekonomi och hälsa, Jordbruk och livsmedel

Tora Råberg – Hortonom och forskare, utredare jordbrukstillämpningar

Karin Morell – Miljövetare, utredare jordbruk och ekosystemtjänster

Ecogain AB

Ida Pettersson – Naturgeograf med inriktning ekologi, huvudansvarig för framtagande av handbok, utredare biologisk mångfald och ekosystemtjänster.

Ursula Zinko – Ekolog, utredare biologisk mångfald och ekosystemtjänster.

Denna handbok har tagits fram inom projektet Eko-Sol, som finansierats av Energimyndigheten

This work by RISE Research Institutes of Sweden and Ecogain is, except where otherwise noted, licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Referera till denna handbok:

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 solcellsparkar som gynnar biologisk mångfald och ekosystemtjänster. ISBN 978-91-89711-96-9, RISE Research Institutes of Sweden.

ISBN 978-91-89711-96-9

Innhold

Norsk oversettelse.....	2	3.2 Anlegg/bygging	30
Medverkande	3	3.2.1 Unngå visse tiltak i sårbare perioder.....	30
Innhold	4	3.2.2 Oppretthold beskyttelsesavstand til sårbare naturverdier	30
Ordliste begreper	7	3.2.3 Forhindre spredning av invasive arter	31
1. INTRODUKSJON	10	3.2.4 Redusere skader og slitasje	31
Leserveiledning	13	3.2.5 Gjenopprette skader.....	32
2. TILTAKSHIERARKIET OG BIODIVERSITY NET GAIN.....	15	3.2.6 Ta vare på plantemateriale	32
3. ARBEIDSPROSESS FOR Å FREMME BIOLOGISK MANGFOLD OG ØKOSYSTEMTJENESTER	20	3.2.7 Skape nye verdier i parken	32
3.1 Planlegging og utforming av solcelleparken.....	20	3.2.8 Evaluer entreprenørarbeidet.....	33
3.1.1 Vurdering av stedets egnethet og forutsetninger i en tidlig planleggingsfase.....	20	3.3 Drift	33
3.1.2 Gjennomfør en naturverdikartlegging	22	3.3.1 Vedlikehold i samsvar med plan for biologisk mangfold og/eller jordbruk.....	33
3.1.3 Undersøk muligheter for agrivoltaiske systemer	23	3.3.2 Unngå belysning	34
3.1.4 Ta hensyn til sosiale og rekreative verdier	24	3.3.3 Tilpass gjerder	34
3.1.5 Utform solcelleparken med hensyn til naturverdier	25	3.3.4 Hold beskyttelsesavstand til solcelleutstyr.....	34
3.1.6 Velg egnet monteringsmetode og teknologi for solcelleinstallasjonen	25	3.3.5 Rengjøring av solcellepaneler	34
3.1.7 Utarbeide en skjøtselsplan for biologisk mangfold og/eller jordbruk	26	3.4 Demontering	34
3.1.8 Utarbeide og fastsette byggetegninger	29	4. TILTAKSBIBLIOTEK FOR ECOVOLTAISKE SYSTEMER	36
		4.1 Velg tiltak ut fra et landskapsperspektiv og plass-spesifikke forutsetninger	36
		4.2 Etabler slåtteenger og englignende gressmarker	37
		4.3 Innføring av beite.....	40
		4.4 Planting av trær og busker	42

4.5 Anlegg av små vann og dammer	43	6.2.1 Mindre endring av mikroklimaet under modulene	75
4.6 Restaurere grøfter og bekker	44	6.2.2 Lystilgang	75
4.7 Skape sandmiljøer	45	6.2.3 Vannhusholdning.....	77
4.8 Anlegge amfibiehotell	47	6.2.4 Jorderosjon.....	77
4.9 Sette opp reirkasser og insektshotell	47	6.2.5 Systemets høyde	77
4.10 Lage blomsterbed for sommerfugler og humler	50	6.2.6 Størrelse på solcellefelt/-rader	77
4.11 Veteranisering og fristilling av trær, lage død ved	50	6.2.7 Avstand mellom solcellefeltene/-radene	78
4.12 Lage vedhauger	52	6.2.8 Modulteknologi (inkludert transparens)	79
4.13 Anlegge steinrøyser og steingjerder.....	52	6.2.9 Panelhelling og azimuthvinkel	80
4.14 Tilrettelegge for vilt	53	6.2.10 Markfundament	82
4.15 Bekjempe invasive arter	54	6.2.11 Elsikkerhet	82
5. TILTAKSIBLIOTEK FOR AGRIVOLTAISKE SYSTEMER.....	58	6.2.12 Mekanisk sikkerhet.....	83
5.1 Dyrking	59	7. AVSLUTNING OG OPPFORDRINGER TIL SOLCELLEBRANSJEN	84
5.1.1 Dyrkingsinstruksjoner i agrivoltaiske systemer	59	REFERANSER.....	86
5.1.2 Valg av avlinger.....	60	VEDLEGG 1 – SIMULERINGER AV INNSTRÅLING FOR TYPISKE	
5.1.3 Skjøtsel Landbruksmaskiner.....	64	MONTERINGSMETODER	89
5.2 Dyrehold i agrivoltaiske solcelleparker.....	68	Solcellemontering A - Radmontert sør	90
6. SOLCELLETEKNISKE LØSNINGER FOR ECO- OG AGRIVOLTAISKE SYSTEMER	71	Solcellemontering B – Radmontert sør med økt mellomrom	91
6.1 Valg av design og monteringsmetode for solcelleinstallasjonen	72	Solcellemontering C – Forhøyet sør	92
6.1.1 Typiske løsninger for montering av solceller	72	Solcellemontering D – Forhøyet sør med økt mellomrom.....	93
6.1.2 Sikkerhetsaspekter	74	Solcellemontering E – Radmontert øst/vest	94
6.2 Designparametre og anbefalinger for utforming av agrivoltaiske eller		Solcellemontering F – Vertikalt stående øst/vest.....	95
ecovoltaiske systemer	75		



Ordliste begreper

Agrivoltaics eller agrivoltaiske systemer

Solcelleparker med integrert jordbruksvirksomhet (dyrking og/eller dyrehold).

Årgangsvekst (Annuell)

Ettårig plante (vokser opp, blomstrer og setter frø i løpet av ett år. Individet kommer ikke igjen neste år, bare frøet overvinter og blir til en ny plante).

Artskyddsförordningen

Svensk lovverk som regulerer beskyttelse av visse dyr, planter og andre organismer.

Biotop

Type naturområde med spesifikk sammensetning av dyr, planter og andre organismer.

Biotopbeskyttelse

Juridisk beskyttelse som kan tildeles visse utpekte biotoper, for eksempel utvalgte naturtyper iht. nml og skogvern.

Ecovoltaics eller ecovoltaiske systemer

Solcelleparker med integrerte tiltak for å fremme biologisk mangfold.

Økosystemtjenester

De goder og tjenester som naturen gir oss mennesker.

Faunadepot

Oppsamling av dødt trevirke som boplass og underlag for vedlevende arter, blant annet insekter.

Grønn infrastruktur

Nettverk av natur som bidrar til fungerende livsmiljøer for dyr, planter og andre organismer.

Hensynshierarki

Hierarkisk syn der skader først skal unngås, deretter minimeres og restaureres på stedet, og kun om ikke andre tiltak kan gjennomføres, kompenseres. Kalles også tiltakshierarkiet.

Invasive arter

Arter som har blitt flyttet fra sin opprinnelige miljø

og som i sitt nye miljø sprer seg raskt og påvirker biologisk mangfold negativt.

Naturskog/Kontinuitetsskog

Skog som ikke har blitt hogget, men fått vokse med lang kontinuitet. Slike skoger har ofte stor naturverdi.

Karplanter

Undergruppe av planteriket. Omfatter gress, urter, bregner, busker, trær med mer.

Mellomroms agrivoltaiske systemer

(engelsk: "interspace, or increased space agrivoltaics") - Agrivoltaiske løsninger der jordbruk foregår i radene mellom solcellepanelene.

Mikroklima

Beskrivelse av klimaet innenfor et avgrenset område, som på grunn av topografi, vegetasjon eller menneskeskapte strukturer, for eksempel solpaneler, skiller seg fra omgivelsene. Eksempler på parametre som kan variere er solinnstråling, temperatur, vind og luftfuktighet, noe som påvirker ville planter og dyrkede vekster sterkt.

Natura 2000

Et nettverk av EUs mest beskyttelsesverdige naturområder, med sikte på å beskytte naturområder og arter som EU-landene har blitt enige om å verne.

Naturverdi

Verdi for biologisk mangfold.

Nøkkelbiotop

Et skogsområde (eller et annet naturområde) som er utpekt som særlig betydningsfullt for biologisk mangfold.

Flerårig plante (Perenn)

Flerårig plante som visner om høsten, men kommer tilbake år etter år.

Radmonterte solcelleparker

Solcelleparker der solcellepanelene er installert i rader.

Radbredde

Avstanden mellom fram- og bakside på en solcelle-rad.

Slått

Høsting av gress- og engvegetasjon med mål om å få fôr til dyr. Historisk har slått blitt utført med ljå. I dag brukes også slåmaskin.

Solcellefelt

Sammenhengende områder med solcellepaneler. Ofte plasseres panelene i rader, men andre plasseringer er også mulig.

Våtmarksinventeringen

Nasjonal kartlegging og klassifisering av våtmarker, utført av fylkesmennene i samarbeid med Naturvårdsverket.

Vekstsone

Ulike deler av Sverige har forskjellige dyrkingsforutsetninger avhengig av for eksempel

når våren og høsten starter, temperatur og antall lystimer. Sverige kan deles inn i 8 dyrkingssoner + fjellregion, som kan gi veiledning om hvilke avlinger, busker og trær som kan dyrkes hvor i landet.

Engs- og beitemarkinventeringen

Nasjonal kartlegging av Sveriges verdifulle enger og beitemarker, utført av länsstyrelserna i samarbeid med Jordbruksverket.

Overliggende agrivoltaiske systemer

(engelsk: "overhead or stilted agrivoltaics").

Agrivoltaiske løsninger der jordbruk foregår under solcellepanelene.



1. INTRODUKSJON

Det biologiske mangfoldet minker i dag, både globalt og i Sverige (IPBES, 2019). Forskere anslår at arter utryddes omtrent 1000 ganger raskere enn antall arter som naturlig utryddes (Pimm m.fl., 2014). Den største enkeltstående drivkraften bak artsutryddelse er endret arealbruk – selv om klimaendringer og miljøforurensninger også bidrar til den negative utviklingen (IPBES, 2019). Med endret arealbruk menes at naturområder tas i bruk til mat- eller energiproduksjon, bebyggelse eller annen menneskelig aktivitet, og dermed ødelegges, reduseres og/eller fragmenteres. Det kan også dreie seg om endret eller opphørt skjøtsel i et område, for eksempel eng- og naturbeitemarker som ikke skjøttes lengre og derfor gror igjen, noe som fører til at arter knyttet til disse markene mister sine livsmiljøer.

BIOLOGISK MANGFOLD OG ØKOSYSTEMTJENESTER

Biologisk mangfold, også kalt biodiversitet, er variasjonen blant alle jordens levende organismer (dyr, planter, sopp og mikroorganismer) i landbaserte, ferskvanns- og marine økosystemer. Begrepet inkluderer mangfold innen arter (genetisk variasjon), mellom arter og mellom økosystemer (Convention on Biological Diversity, 2022). Biologisk mangfold er avgjørende for menneskets og andre livsformers overlevelse, velferd og evolusjon. Det er også en forutsetning for naturens evne til å levere mange typer økosystemtjenester, altså goder og tjenester som naturen tilbyr oss mennesker gratis. Eksempler på økosystemtjenester er luft- og vannrensing, klimaregulering, pollinering og muligheten til å bruke naturen for avkobling og friluftsliv. Vår matforsyning gjennom dyrking og dyrehold er også et eksempel på en økosystemtjeneste. Biologisk mangfold bidrar også til mer motstandsdyktige økosystemer som raskt henter seg inn etter forstyrrelser, noe som er særlig viktig i møte med pågående klimaendringer.

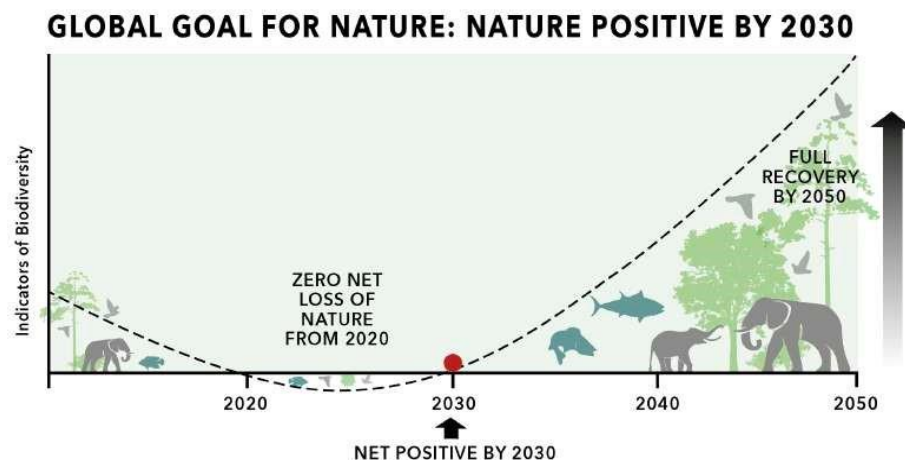
Tap av biologisk mangfold resulterer i at naturens evne til å levere økosystemtjenester, altså naturens produkter og goder som utgjør grunnlaget for menneskers velferd, svekkes. Derfor pekes tap av biologisk mangfold på som en like stor trussel mot menneskeheten som klimaendringene (World Economic Forum, 2020; Steffen m.fl., 2015). Vi må derfor stoppe artsutryddelsen og begynne å restaurere naturmiljøer og øke det biologiske mangfoldet. For å klare dette kreves engasjement og hensyn til biologisk mangfold i alle deler av samfunnet. Flere aktører har begynt å jobbe for å bli netto positive med hensyn til biologisk mangfold, med mål om å oppnå det som kalles Biodiversity Net Gain.

Hvorfor trengs en håndbok om biologisk mangfold og økosystemtjenester i solcelleparker?

Parallelt med at vi må stoppe tapet av biologisk mangfold, må vi også omstille samfunnet til å bli fossilfritt for å stoppe klimaendringene. Dette innebærer at produksjonen av fornybar energi, som solenergi, må økes. I dag vokser bakkemonterte solcelleparker raskt i antall og størrelse i Sverige. Parkene opptar ofte store arealer, og den endrede arealbruken kan føre til at forutsetningene for plante- og dyreliv på stedet endres. Utbyggingen av bakkemonterte solcelleparker kan derfor ha negative konsekvenser for biologisk mangfold. Dessuten bygges de fleste store solcelleparkene i Sverige på dyrket mark, hvor bare

et fåtall fortsetter jordbruksdrift parallelt med elproduksjonen (Björnsson m.fl., 2022). Utbyggingen kan dermed konkurrere med bevaring av dyrkbar jordbruksmark, som er av nasjonal interesse (Miljöbalken 3 kap. 4 §). En ytterligere reduksjon av dyrket areal siden 1950-tallet (Statistiska Centralbyrån, 2019), samt redusert bruk av denne, reduserer vårt selvforsyningsnivå og kan true sikker matforsyning.

Det finnes imidlertid et potensial til å skape nye verdier i solcelleparker som kan forbedre forutsetningene for biologisk mangfold gjennom såkalte ecovoltaiske systemer, altså solcelleparker med integrerte tiltak for biologisk mangfold. Det er også mulig å kombinere jordbruk med solcelleparker gjennom agrivoltaiske systemer (se faktaboks). Med riktig plassering, utforming og skjøtsel av solcelleparker kan de bidra med netto positive effekter på biologisk mangfold og økosystemtjenester. I slike tilfeller reduseres risikoen for at fossilfri energiproduksjon må veies mot bevaring av biologisk mangfold og/eller lokal matproduksjon. Målet med denne håndboken er å gi solenergibransjen gode forutsetninger for å kombinere fossilfri energiproduksjon med bevaring og styrking av biologisk mangfold, samt muligheter for kombinasjon med jordbruk eller dyrehold der det er mulig.



Figur 1: Nature positive by 2030. Bildet er inspirert av naturepositive.org.

Om håndboken

Denne håndboken er rettet mot deg som ønsker å drive storskala, bakkemonterte solcelleparker som bidrar positivt til biologisk mangfold og økosystemtjenester. Håndbokens fokus ligger på biologisk mangfold og de forsørgende økosystemtjenestene jordbruk og husdyrhold. Andre økosystemtjenester, som pollinering og naturens rekreative verdier, behandles mer overordnet. I håndboken defineres en storskala solcellepark som en sentralisert, nett-tilknyttet solcellepark med en effekt på minst 1 MW, men håndboken kan også anvendes for mindre solcelleparker.

Håndboken retter seg i første omgang mot entreprenører i solenergibransjen, men den kan også være nyttig for saksbehandlere hos fylkesmennene, kommunale tjenestepersoner som arbeider med biologisk mangfold og økosystemtjenester, samt grunneiere og bønder som er interessert i å etablere solcelleparker på sine arealer.

Håndboken er utviklet innenfor prosjektet EkoSol, som ble finansiert av Energimyndigheten og gjennomført av RISE og Ecogain mellom 2020–2022.

Avgrensninger

Håndboken fokuserer på biologisk mangfold og økosystemtjenester, og inkluderer derfor ikke alle aspekter som er relevante å ta hensyn til ved planlegging og drift av en solcellepark. For eksempel inkluderes ikke hensyn til kulturmiljøverdier eller muligheten til å koble seg til strømmettet. Håndboken fokuserer heller ikke på de juridiske og økonomiske aspektene ved å anlegge og drive et solcelleanlegg, som hvordan en solcellepark påvirker en grunneiers mulighet til å motta produksjonsstøtte, eller hva som kreves for å få godkjenning eller tillatelse til et anlegg. For mer generelle spørsmål om bakkemonterte solcelleparker henvises det for eksempel til *Solcellsparkar – Guide för markägare i norra Sverige som vill undersöka förutsättningarna för en solcellspark på sin mark* (Skogsberg m.fl., 2022).

Håndboken fokuserer på de effektene som solcelleparker har på og i nærheten av stedet hvor de etableres. Den berører derfor ikke effekter som oppstår i andre deler av verdikjeden for solenergi, for eksempel når panelene produseres eller når strømmen distribueres og brukes.

I håndboken presenteres generelle forslag til retningslinjer, arbeidsmåter og praktiske tiltak. Ved planlegging og implementering av tiltakene som nevnes kan det være nødvendig med ytterligere informasjon/rådgivning (teknisk, økonomisk, juridisk, økologisk osv.) om hva som er optimalt for hvert enkelt anlegg. Til slutt bygger håndboken på den kunnskapen og informasjonen som er tilgjengelig på tidspunktet for utarbeidelsen. Solenergi er et sterkt voksende felt. Dermed vokser både forskning og praktiske erfaringer om hvordan solcelleparker kan planlegges for å fremme biologisk mangfold og økosystemtjenester. Noen av anbefalingene er basert på studier eller forsøk i andre land. Forfatterne har forsøkt å vurdere rimeligheten for svenske forhold og gi så relevante råd som mulig, men ikke alle råd støttes av spesifikke studier. Det er derfor mulig at de anbefalingene som presenteres i denne håndboken vil måtte oppdateres med tiden, etter hvert som ny kunnskap bygges.

AGRIVOLTAISKE SYSTEMER

Integrering av jordbruk eller husdyrhold i solcelleparker er et voksende felt som finnes flere steder rundt om i verden. Når solenergiproduksjon kombineres med jordbruksvirksomhet kalles det agrivoltaiske systemer (engelsk: agrivoltaics eller agriphotovoltaics, "Agri PV") (BRE, 2014).

I Sverige finnes eksempler på agrivoltaiske systemer i solcelleparker som beites av sau, eller hvor det dyrkes engvekster (for eksempel innen et forskningsprosjekt ved Mälardalens universitet (2020)). Dyrking av andre avlinger er per i dag langt mer sjeldent i Sverige, og er kun dokumentert i ett forskningsprosjekt på tidspunktet da denne håndboken ble publisert.

Det finnes imidlertid et stort potensial for å skalere opp dyrking av korn, oljevekster og grønnsaker i solcelleparker også under skandinaviske forhold.

Leserveiledning

- I kapittel 2 gis en introduksjon til tiltakshierarkiet og hva det innebærer å arbeide med målet Biodiversity Net Gain.
- I kapittel 3 presenteres en arbeidsprosess for å fremme biologisk mangfold og økosystemtjenester gjennom planlegging, etablering, drift og nedmontering av en solcellepark.
- I kapittel 4 presenteres et tiltaksbibliotek for ekovoltaiske systemer, med mulige tiltak for å styrke og nyskape forutsetninger for biologisk mangfold.
- I kapittel 5 presenteres et tiltaksbibliotek for agrivoltaiske systemer, med mulige tiltak og hensyn å ta når solceller kombineres med dyrking.
- I kapittel 6 presenteres solcelletekniske løsninger og alternativer av relevans for eko- og agrivoltaiske systemer.

Figur 2: (Neste side) Bringebær-dyrking i solcellepark.

Foto: Copyright @ BavWa r.e





2. TILTAKSHIERARKIET OG BIODIVERSITY NET GAIN

Tiltakshierarki

Tiltakshierarkiet er et viktig utgangspunkt for å skape best mulige forutsetninger for biologisk mangfold og økosystemtjenester. I det følgende avsnittet gis en introduksjon til tiltakshierarkiet og hva det innebærer å arbeide mot Biodiversity Net Gain.

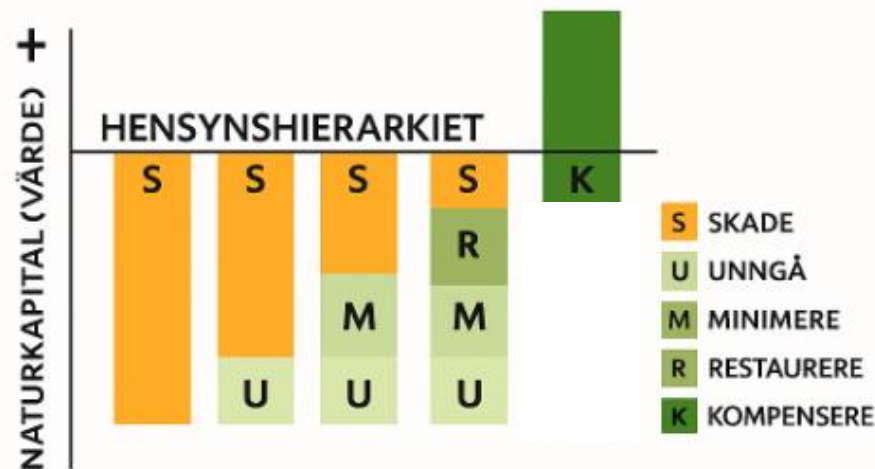
For å på mest effektiv måte skape nytte for biologisk mangfold og økosystemtjenester, bør det såkalte tiltakshierarkiet anvendes gjennom hele prosessen når en solcellepark planlegges og etableres.

Tiltakshierarkiet er et verktøy og en arbeidsmetode for å håndtere påvirkning på biologisk mangfold og økosystemtjenester på mest mulig effektiv måte, se figur 4. Den innebærer at skader på naturverdier, for eksempel arter eller naturtyper:

- I første omgang skal *unngås* helt
- I andre omgang skal *minimeres*
- I tredje omgang skal *restaureres*
- I fjerde omgang, og som siste alternativ, skal skader *komponeres* gjennom tiltak for å styrke stedets naturverdier, enten innenfor eller utenfor det berørte området.

Målet med tiltakshierarkiet er å minimere den samlede påvirkningen slik at det ikke oppstår netto tap eller helst en netto gevinst, Biodiversity Net Gain, av naturverdier og/eller økosystemtjenester, se figur 4.

Det viktigste og mest avgjørende steget for å skape en solcellepark som bidrar positivt til biologisk mangfold og økosystemtjenester er altså å unngå negativ påvirkning. Her er valget av plass avgjørende og handler om å bevare så stor del av eksisterende naturverdier som mulig.



Figur 4: Hensynshierarkiet (Tiltakshierarkiet på Norsk) er et verktøy og en arbeidsmetode for å håndtere påvirkning på biologisk mangfold. Den bygger på trinnene: unngå, minimere, restaurere og kompensere.

På en godt valgt plass kan solcelleparken deretter utformes for å minimere påvirkning som ikke kan unngås. Deretter kan det gjennomføres stedsspesifikk restaurering og/eller kompensasjon gjennom etablering av nye strukturer og leveområder.

Arbeidet med tiltakshierarkiet er en iterativ prosess der mulige tiltak vurderes etter hvert som prosjektet utvikler seg og ny relevant informasjon kommer frem. I kapittel 3 beskrives videre hvordan tiltakshierarkiets ulike trinn kan anvendes gjennom tiltak i planlegging, etablering, drift og nedmontering av en solcellepark.

Biodiversity Net Gain

Biodiversity Net Gain er et mål som kan anvendes på prosjekt- eller organisasjonsnivå, eller for et produkt eller en verdikjede. Det innebærer at prosjektet eller organisasjonen samlet sett, etter at negative og positive effekter er veid opp mot hverandre, skal bidra positivt til biologisk mangfold. Globalt har mange bedrifter, regjeringer og myndigheter allerede vedtatt mål om Biodiversity Net Gain (Forest Trends, 2022).

Også internasjonale organisasjoner som IUCN støtter målet (IUCN, 2022). I Sverige er Biodiversity Net Gain et relativt nytt begrep. Det finnes ennå ingen nasjonale retningslinjer eller rammeverk som beskriver hvordan arbeidet med målet Biodiversity Net Gain bør se ut, verken på nasjonalt nivå eller for en spesifikk bransje. Det finnes for eksempel ingen nasjonalt anerkjent metode for hvordan de negative og positive effektene skal kvantifiseres og sammenlignes. En slik sammenligning er nødvendig for å kunne vite om Biodiversity Net Gain er oppnådd. Biodiversity Net Gain som mål forventes imidlertid å få økt utbredelse og betydning i løpet av de kommende årene, både i Sverige og globalt, blant annet i forbindelse med at EUs taksonomi for bærekraftige investeringer definerer hva som er bærekraftig i forhold til påvirkning på biologisk mangfold.

Siden det ikke finnes nasjonalt anerkjente metoder eller retningslinjer for Biodiversity Net Gain, må detaljer som målemetode og prinsipper for kompensasjon defineres for hvert enkelt prosjekt. En økolog med erfaring i hvilke naturverdier som kan måles og kvantifisere disse, kan bidra her.

ALLE NATURVERDIER KAN IKKE KOMPENSERES

Kompensasjonstiltak kan anvendes som det siste trinnet i tiltakshierarkiet, dersom skader gjenstår til tross for at tiltak for å unngå, minimere og restaurere er gjennomført. Men for den som planlegger et tiltak som påvirker naturverdier, er det viktig å huske at ikke alle naturverdier kan erstattes eller kompenseres. Dette gjelder særlig naturmiljøer hvis verdi er avhengig av deres alder eller av kontinuerlig skjøtsel over lang tid. Eksempler er gammel skog som aldri har blitt flatehogd, eller enger som har blitt slått i minst 50–100 år. Det gjelder også enkelte gamle trær, som eik, som er mest betydningsfulle for biologisk mangfold når de er over 300 år gamle – og en gammel eik kan ikke kompenseres ved å plante en ny, ung. Derfor må enkelte høye naturverdier helt unntas fra påvirkning dersom målet er Biodiversity Net Gain.

Nedenfor presenteres en oversikt over fire trinn som bør følges for å arbeide med Biodiversity Net Gain. En erfaren økolog bør være involvert i alle trinnene.

1. Planlegg solcelleparken ut fra tiltakshierarkiet.

La tiltakshierarkiet gjennomsyre planleggingen av solcelleparken, både når det gjelder plassering, utforming og skjøtsel. Forslag til en arbeidsprosess i ulike trinn presenteres i kapittel 3. Tiltakshierarkiet inkluderer også restaurerende og kompenserende tiltak. I kapittel 4 presenteres et tiltaksbibliotek for ecovoltaiske systemer, med forslag til restaurerende, kompenserende og andre nyskapende tiltak med positive effekter for biologisk mangfold.

2. Identifiser og kvantifiser solcelleparkens negative og positive påvirkning.

For å oppnå Biodiversity Net Gain kreves kunnskap om solcelleparkens påvirkning på biologisk mangfold, der både negative og positive effekter skal vurderes. Første steg er derfor å identifisere disse effektene. Effektene kan variere mye mellom ulike solcelleparker. Typiske negative effekter vises i faktaboksen, mens tiltak som kan bidra til positive effekter presenteres i kapittel 4.

Både de positive og negative effektene må deretter måles. Dette inkluderer også tiltak som minimerer negative effekter. Denne håndboken går ikke i dybden på hvordan målingen skal utføres, men gir refleksjoner og forslag til metoder som kan være nyttige, presentert i faktaboksen på side 17.

3. Sammenlign positive og negative effekter.

For å oppnå Biodiversity Net Gain må de samlede positive effektene overstige de samlede negative. Ved hjelp av den eller de valgte målemetodene, vurder om de samlede positive effektene er tilstrekkelige for at Biodiversity Net Gain sannsynligvis oppnås.

4. Undersøk nye muligheter og vurder på nytt.

Hvis Biodiversity Net Gain sannsynligvis ikke kan oppnås med de foreslåtte tiltakene, undersøk andre muligheter. Ta utgangspunkt i tiltakshierarkiet og start alltid med å vurdere om negativ påvirkning kan unngås ytterligere. Vurder deretter om negativ påvirkning kan minimeres og restaureres. Neste steg er å vurdere mulige kompensasjonstiltak. Prosessen gjentas til en plan som sannsynligvis vil føre til Biodiversity Net Gain er på plass.

HVILKE NEGATIVE EFFEKTER KAN EN SOLCELLEPARK MEDFØRE?

Solcelleparkers negative påvirkning på biologisk mangfold og økosystemtjenester varierer fra tilfelle til tilfelle. Eksempler på vanlig påvirkning inkluderer:

- *Direkte arealbruk fra stolper eller fundamenter*
- *Tap av leveområder for ulike arter, for eksempel hvis trær og busker fjernes eller beitemark tas i bruk*
- *Påvirkning på jord og vegetasjon fra blant annet kjøretøy under anleggsfasen*
- *Skyggeeffekter som påvirker mikroklimaet og dermed endrer forholdene for plante- og dyreliv på stedet*
- *Barriereeffekter som hindrer særlig større pattedyrs spredning i landskapet*
- *Endret landskapsbilde, som kan påvirke enkelte dyr og også mennesker, samt redusert tilgjengelighet i landskapet*
- *Redusert dyrkbar jord hvis jordbruksland tas i bruk*

(Kilde: Råberg m.fl., 2021 og IUCN, 2021)

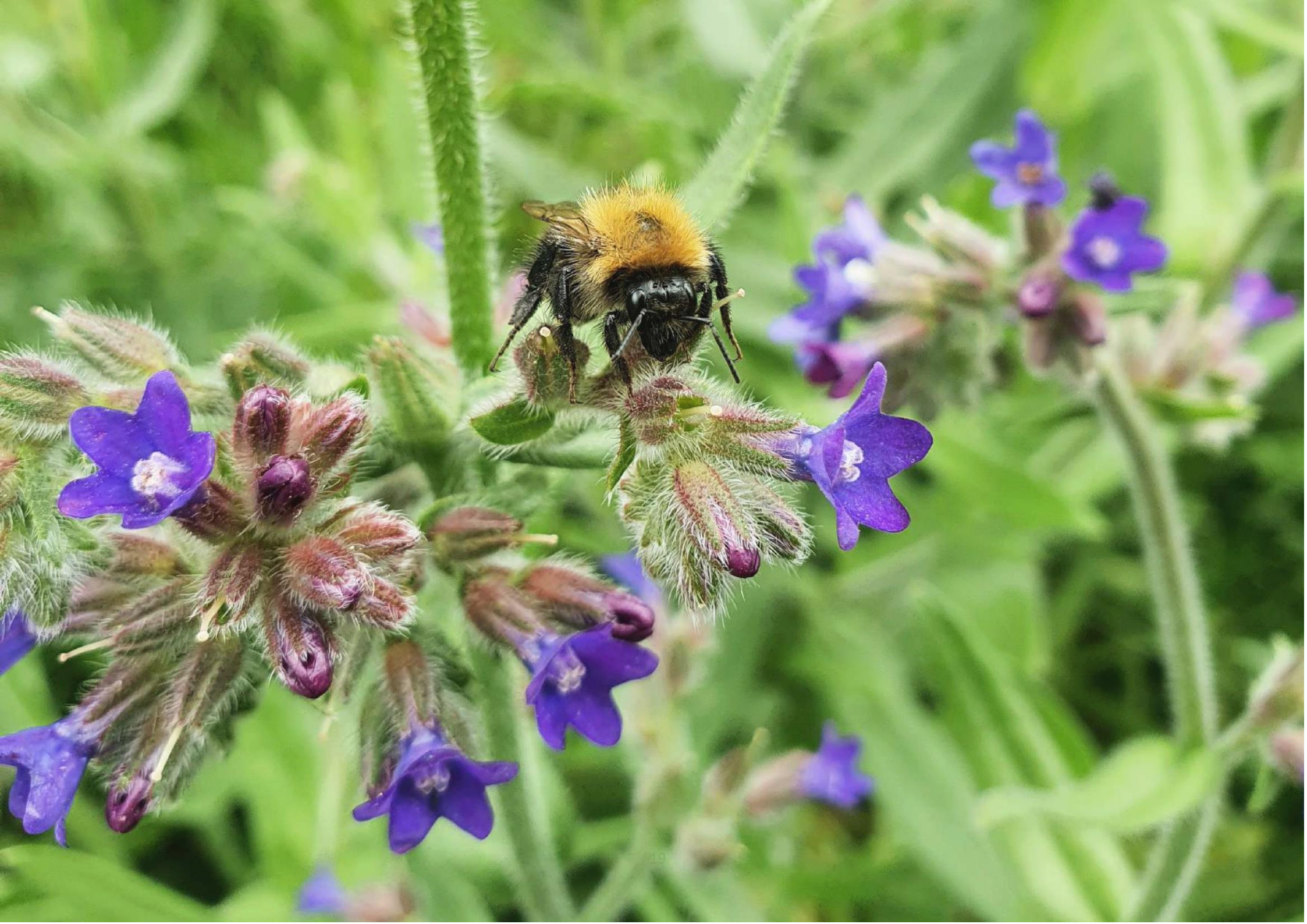
HVORDAN KAN BIOLOGISK MANGFOLD MÅLES?

For å kunne sammenligne de negative og positive effektene som tiltak i en solcellepark medfører, må de kunne måles. Biologisk mangfold er svært komplekst. Derfor finnes det ennå ikke én enkel måleverdi som kan brukes til å kvantifisere biologisk mangfold, selv om det pågår intensiv metodeutvikling både i Sverige og internasjonalt. En utfordring med å måle biologisk mangfold som helhet er å finne en passende balanse mellom forenkling og det å beskrive økosystemenes kompleksitet på en tilstrekkelig korrekt måte. I dag kan ulike metoder og modeller som forenkler biologisk mangfolds kompleksitet, eller fokuserer på enkelte aspekter av mangfoldet, benyttes – se tabell 1.

Den som skal velge målemetode må blant annet vurdere hvor fleksibel metoden skal være med hensyn til hvilke verdier som kan erstatte hverandre. Skal for eksempel en buskhekk som fjernes, kun kunne kompenseres ved å etablere en ny buskhekk, eller kan den kompenseres ved å skape et annet naturmiljø? Regler for slike vurderinger bør fastsettes og inkluderes i målemetoden.

Tabell 1: Eksempler på metoder for å måle eller vurdere biologisk mangfold eller økosystemtjenester

Metode	Bruksområde og kommentarer
Svensk standard for naturverdikartlegging (NVI), se faktarute på side 22.	NVI-standard er en anerkjent og mye brukt metode for å kartlegge biologisk mangfold i Sverige. Den fungerer på ulike skalaer, i forskjellige bransjer og er transparent. Metoden i seg selv kvantifiserer ikke naturverdi, men kan videreutvikles, for eksempel ved å summere areal for hver naturverdiklasse. NVI gir et øyeblikksbilde og kan ikke brukes til å estimere verdier som kan oppstå over tid, som ved kompensasjonstiltak.
Rettete artskartlegginger	Kan brukes til oppfølging av spesifikke naturverdier, som antall karplanter på en eng eller vedboende sopper i et skogsområde. Kartleggingene tilpasses eksisterende naturverdier. Som NVI er dette ikke et fullstendig verktøy for å kvantifisere og sammenligne naturverdier.
CLIMB (Changing Land Use Impact on Biodiversity)	Et pågående prosjekt som utvikler en standardisert metode for å vurdere biologisk mangfold ved endret arealbruk. Basert på britiske Defras Biodiversity Metric og tilpasses svenske forhold. Metoden beregner biodiversitetsenheter ut fra naturtype, strategisk betydning m.m. Enhetene kan beregnes for både tap og gevinst av biologisk mangfold, for ulike naturtyper og skalaer.
Metoder for analyse av økosystemtjenester, f.eks. ESTER 2.0	Det finnes flere utviklede metoder for å kartlegge økosystemtjenester. Boverkets ESTER 2.0 er et verktøy for å identifisere og sammenligne økosystemtjenester innenfor et område før og etter tiltak. Den gir et oversiktsbilde og kan trenge utfyllende analyser. Flere metoder finnes i "Økosystemtjenester – en verktøyglåda".
SPIES (Solar Park Impacts on Ecosystem Services)	Et beslutningsstøtte/verktøy utviklet av Lancaster University m.fl. for å sammenligne ulike tiltak for økosystemtjenester. Verktøyet rangerer tiltak basert på påvirkning, støttet av vitenskapelige publikasjoner. Les mer på: SPIES Project (lancaster.ac.uk)
Metoder for å beregne avkastning (tonn/ha og kWh), f.eks. Land Equivalent Ratio (LER)	Metoden består av en sammenligning av forholdet mellom produksjonen (avling og energi) fra et område med separate aktiviteter (solenergiproduksjon og dyrking i dette tilfellet) sammenlignet med produksjonen fra et område av samme størrelse, men hvor produksjonen er kombinert (solenergiproduksjon kombinert med dyrking). Summen av kombinasjonen deles på summen av separate aktiviteter. Brukes for å beregne potensielle gevinster ved kombinert arealbruk.



3. ARBEIDSPROSESS FOR Å FREMME BIOLOGISK MANGFOLD OG ØKOSYSTEMTJENESTER

For å fremme biologisk mangfold og økosystemtjenester må tiltakshierarkiet tas i betraktning gjennom hele prosessen – fra planlegging og etablering til drift og nedmontering av en solcellepark. I det følgende avsnittet beskrives en arbeidsprosess med anbefalte tiltak for å styrke biologisk mangfold og økosystemtjenester, spesielt innen dyrking og dyrehold, gjennom hele solcelleprosjektet.

3.1 Planlegging og utforming av solcelleparken

Naturverdier må vurderes tidlig. Ved planlegging og utforming av en solcellepark finnes de største mulighetene for å skape gode forutsetninger for biologisk mangfold og økosystemtjenester. Nedenfor beskrives anbefalte punkter som bør vurderes i planleggingsfasen.

3.1.1 Vurdering av stedets egnethet og forutsetninger i en tidlig planleggingsfase

Det viktigste enkeltstående tiltaket for å skape en solcellepark som bidrar positivt til biologisk mangfold og økosystemtjenester er å velge riktig plass og unngå etablering på områder med høye naturverdier. Dersom slike verdier tas i bruk og skades eller forsvinner som følge av etableringen, kan det være svært vanskelig eller umulig å oppnå Biodiversity Net Gain – selv om kompensasjonstiltak gjennomføres.

Derfor bør alle lokaliseringalternativer for solcelleparken vurderes med hensyn til naturverdier i en tidlig fase av prosjektet. I vurderingen bør også mulige nye adkomstveier og nettilknytning tas med. Målet er ikke bare å utelukke områder med kjente høye naturverdier, men også å identifisere og vurdere risikoer knyttet til naturverdier, praktisk gjennomføring og tillatelsesprosesser.

ØKOLOGISK KOMPETANSE I ARBEIDSPROSESSEN

Riktig kunnskap og kompetanse er avgjørende for å skape gode forutsetninger for biologisk mangfold og økosystemtjenester. For å forstå hvilke naturverdier som finnes på et sted, hvordan eksisterende naturverdier sannsynligvis vil påvirkes av en solcellepark, og hvilke tiltak som er egnet for å bevare og forbedre forholdene, kreves økologisk kompetanse.

Derfor bør en økolog delta i planleggingen av en solcellepark. Siden biologisk mangfold og økosystemtjenester må vurderes tidlig for å skape de beste forutsetningene, bør økologen involveres fra et tidlig planleggingsstadium. På samme måte kan personer med kompetanse innen jordbruk involveres dersom slike verdier berøres av prosjektet.

En vurdering i en tidlig fase av prosjektet kan gjennomføres som en skrivebordsstudie. Relevante datakilder for vurderingen kan være:

- Geodata fra Länsstyrelsens Geodatakatalog, Jordbruksverkets database TUVÅ og Naturvårdsverkets Miljödataportalen over verneområder og andre utpekte naturområder, som Natura 2000-områder, naturreservater og områder med naturvernavtaler.
- Artsforekomster fra SLU Artportalen.
- Regionale handlingsplaner fra Länsstyrelsene for grønn infrastruktur og naturvernprogrammer.
- Kommunale dokumenter som kommuneplaner, grønnstrukturplaner og naturvernprogrammer.
- Tidligere arealbruk, som kan hentes fra nåværende eller tidligere grunneiere, samt historiske kart fra f.eks. Lantmäteriet.
- Informasjon fra lokale foreninger som botaniske, ornitologiske og naturvernforeninger.

Vurderingen bør svare på følgende spørsmål:

- Finnes det verneområder, truede arter eller andre kjente naturverdier på eller i nærheten av området?
- Drives det jordbruk eller dyrehold på eller i nærheten av området i dag?
- Finnes det verdier knyttet til rekreasjon og friluftsliv på eller i nærheten av området?
- Er området viktig for andre økosystemtjenester enn jordbruk og dyrehold?
- Hvis svaret på ett eller flere av spørsmålene er ja: hvordan kan de eksisterende verdiene bli påvirket av en etablering, og hvor sannsynlig er dette?

Basert på svarene kan en første, overordnet vurdering av stedets egnethet for solcelleetablering gjøres. Dersom det finnes kjente naturverdier på stedet, bør en person med god økologisk kompetanse involveres i vurderingen. På samme måte bør personer med kompetanse innen jordbruk og rekreasjon/friluftsliv involveres dersom slike verdier berøres av prosjektet.

Retningslinjer for naturområder

Hvorvidt et område er egnet for etablering med hensyn til naturverdier må vurderes fra sak til sak. En overordnet anbefaling som gjelder i de fleste tilfeller er å helt unngå etablering:

- I formelt verneområder: naturreservater, nasjonalparker, Natura 2000-områder, biotopvern, naturvernavtaler.
- I sjeldne eller sårbare naturtyper med stor verdi for biologisk mangfold, som slåtteeenger og kontinuitetsskog.
- Der det finnes kjente forekomster av rødlistede, fredede og/eller arter som er beskyttet i henhold til artsvernbestemmelser, og som risikerer å bli negativt påvirket av en etablering.

Retningslinjer for jordbruksmark

Hvis området består av jordbruksmark, må egnetheten – som for naturområder – vurderes individuelt. Generelt er det viktig å vurdere både nåværende og fremtidig produksjonstap, spesielt for de mest produktive jordbruksområdene.

Selv om det kan være mulig å tilbakeføre marken til tidligere bruk, bør risikoer som jordpakking og andre faktorer som kan påvirke fremtidige dyrkingsmuligheter tas med i vurderingen av områdets egnethet som solcellepark.

Retningslinjer for solcelleinstallasjoner

Områdets egnethet for en solcelleinstallasjon må også vurderes. De mest avgjørende faktorene ved valg av plass for en konvensjonell solcellepark er kostnader for kjøp eller av mark, nærhet til strømnettet og aksept fra naboer og lokalsamfunn (Björnsson m.fl., 2022).

Tilgjengelighet til strømnettet og kapasitet i avsidesliggende og landlige områder kan øke tilkoblingskostnadene og påvirke prosjektets økonomiske lønnsomhet. Også annen infrastruktur som adkomstveier, mobildekning og internettforbindelse er relevant.

En mer detaljert beskrivelse av viktige faktorer ved valg av plass for solcelleparker finnes i *Solcellsparker – Guide för markägare i norra Sverige som vill undersöka förutsättningarna för en solcellspark på sin mark* (Skogsberg m.fl., 2022).

3.1.2 Gjennomfør en naturverdikartlegging

Etter at én eller flere egnede steder er identifisert gjennom en første, overordnet vurdering, er neste steg å gjennomføre en naturverdikartlegging i henhold til svensk standard (se faktaboks). Kartleggingen skal utføres av en økolog.

Resultatet fra kartleggingen utgjør et grunnlag for at solcelleentreprenøren, sammen med en økolog

og i dialog med godkjenningsmyndigheten, skal kunne:

- Avgjøre om området er egnet for etablering av en solcellepark.
Områder som i en naturverdikartlegging etter svensk standard (SS 199000) vurderes til klasse 1 eller 2 – de to høyeste naturverdiene – bør helt unntas fra utbygging. I noen tilfeller kan også klasse 3 og 4 være uegnet for etablering.
- Bestemme teknologi og utforming av solcelleparken for å minimere påvirkning og skape positive effekter.
- Planlegge beskyttelsestiltak for eksisterende naturverdier, inkludert hvordan eventuelle forekomster av invasive arter (se faktaboks på side 20) skal håndteres.
- Vurdere og ta beslutning om behov for kompensasjon for skader på naturverdier.
- Dersom kompensasjon vurderes som nødvendig, og/eller det finnes ambisjoner om å ytterligere styrke stedets naturverdi: planlegge tiltak for restaurering og etablering av nye naturverdier.

3.1.3 Undersøk muligheter for agrivoltaiske systemer

Hvis én av de egnede plassene som er identifisert i den første, overordnede vurderingen består av jordbruksmark, bør mulighetene for agrivoltaiske systemer undersøkes. Vurderingen kan med fordel utføres av solcelleentreprenøren og grunneieren i dialog med en hortonom eller agronom.

Forutsetningene for jordbruk i solcelleparken avhenger hovedsakelig av jordens egenskaper, tidligere bruk av området og den tekniske utformingen av solcelleanlegget. Jordarten påvirker for eksempel jordens fruktbarhet og tilgjengeligheten av næringsstoffer. Informasjon om tidligere bruk av området kan gi indikasjoner på potensialet for et agrivoltaisk system – hvis området tidligere har vært dyrket, kan det tyde på at det egner seg for jordbruk. Dersom det er en tidligere industritomt, bør det gjennomføres en undersøkelse for å avdekke eventuell forurensning før beslutning tas. En avgjørende forutsetning for agrivoltaiske systemer er at det finnes bønder eller dyreeiere i nærheten som er villige til å drive

jordbruk under disse forholdene – dette bør også undersøkes tidlig i prosessen.

Mer informasjon om forutsetninger og muligheter for agrivoltaisk drift finnes i kapittel 5.

Underlag som kan være nyttige i vurderingen:

- Jordartskart, for eksempel “Jordarter 1:25 000–1:100 000” fra Sveriges geologiske undersøkelse (SGU, 2020)
- Representativ jordprøve, analysert med hensyn til næringsstoffer, f.eks. en NPK-analyse
- Opplysninger om tidligere arealbruk, fra nåværende eller tidligere grunneiere, samt historiske kart fra Lantmäteriet
- Undersøkelse av forurenset jord, f.eks. etter MIFO-metodikken (Metod för Inventering av Förorenade Områden). Dersom miljøfarlige stoffer finnes i konsentrasjoner som overstiger grenseverdier, anbefales det at all jordbruksaktivitet unngås inntil området er sanert.

Naturverdikartlegging (NVI)

Svenska Institutet för Standarder har i samarbeid med naturvernsektoren og relevante myndigheter utviklet en svensk standard for naturverdikartlegging med hensyn til biologisk mangfold (SS 199000), som har fått stor utbredelse i Sverige (SIS, 2022).

Standarden er et verktøy for å identifisere, klassifisere og dokumentere naturverdier innen et område. I tillegg til klassifisering av naturverdier finnes det valgfrie tillegg, som registrering av invasive arter, kartlegging av naturverdifulle trær og mer detaljerte undersøkelser av visse naturtyper som forekommer.

Standarden beskriver både hvordan en naturverdikartlegging skal gjennomføres, hvilken kompetanse som kreves, og hvordan resultatet skal rapporteres. Metoden bygger på å vurdere et geografisk avgrenset område basert på to hovedparametere artverdi (Forekomst av arter med naturverninteresse) og biotopverdi (Områdets egnethet for å huse et rikt biologisk mangfold)

Hvis agrivoltaiske systemer er aktuelle, kan en erfaren hortonom eller agronom, i samarbeid med en solenergiekspert eller prosjektleder, utarbeide forslag til egnede kombinasjoner av solcellemontering og dyrkingssystemer. Dette innebærer valg av ettårige og/eller flerårige vekster med passende vekstskifte, samt en skjøtselsplan. Skjøtselsplanen bør utarbeides i dialog med grunneier og bonde, basert på de lokale forholdene. Mer om skjøtselsplaner finnes i avsnitt 3.1.6.

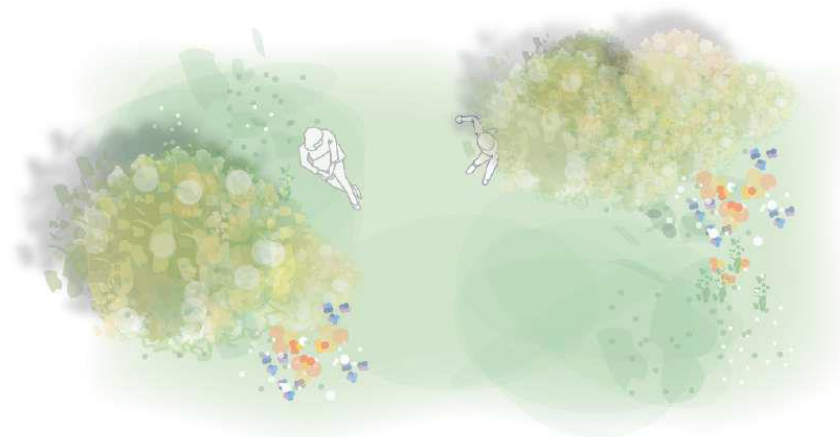
3.1.4 Ta hensyn til sosiale og rekreative verdier

En solcellepark kan påvirke naturens sosiale og rekreative verdi for mennesker – altså de kulturelle økosystemtjenestene. Dette inkluderer estetiske verdier, muligheten til å oppholde seg i naturen for aktiviteter og avslapning. En stor solcellepark som er inngjerdet kan for eksempel kutte av stier som brukes til rekreasjon eller daglige turer. Et inngjerdet område kan også bidra til en følelse av et fragmentert og utilgjengelig landskap. For naboer som bruker området til hverdagsrekreasjon, kan tegn på utbygging endre opplevelsen av landskapet. Solcelleparken kan altså medføre både negative og positive effekter, og hva som oppleves som positivt eller negativt kan variere mellom personer. Opplevelsen kan

varierte, for eksempel avhengig av hvilket forhold man har til stedet; om man bor der, jobber i området eller er på gjennomreise. Den kan også avhenge av hvilken holdning man har til storskala solcelleparker.

For å unngå negativ påvirkning og skape positive merverdier, bør sosiale og rekreative verdier vurderes i planleggingen av solcelleparken. Dette kan gjøres ved å:

- Kartlegge viktige stier og områder som er viktige for rekreasjon og friluftsliv i nærheten av den planlagte solcelleparken.
- Føre dialog med naboer og andre interessenter for å finne ut hvordan området brukes og hvilke ønsker som finnes for utviklingen av stedet. Dialogen kan skje i formelle høringer, men også i andre forum initiert av solcelleentreprenøren.
- Gjennomføre en mer omfattende landskapsanalyse, som kan utføres av fagpersoner.



SATSE PÅ JORDBRUK ELLER BIOLOGISK MANGFOLD?

Noen ganger er det ikke gunstig å kombinere tiltak for biologisk mangfold med jordbruk. Et eksempel er at gjødsling av jordbruksmark ofte forverrer forutsetningene for biologisk mangfold. Den som skal etablere en solcellepark bør derfor bestemme seg for hva hovedfokuset skal være innenfor ulike deler av eller hele solcelleparken: å fremme biologisk mangfold eller å utnytte dyrkingsmuligheter. Dette valget vil sannsynligvis baseres på en kombinasjon av både praktiske, økonomiske og økologiske aspekter, og den mest egnede arealbruken varierer fra tilfelle til tilfelle. Generelt er det hensiktsmessig å satse på jordbruk dersom jorden er fruktbar, har høyt næringsinnhold og tidligere har vært brukt til jordbruk. Hvis jorden er mer næringsfattig, sandholdig eller tidligere har vært brukt som for eksempel beitemark, kan det være mer passende å fokusere på biologisk mangfold.

3.1.5 Utform solcelleparken med hensyn til naturverdier

Utform solcelleparkens layout for å bevare og styrke eksisterende naturverdier. Hvis det finnes naturverdier hvor skade ikke helt kan unngås, planlegg layouten slik at påvirkningen minimeres. Det kan for eksempel handle om å planlegge plasseringen av panelene slik at ingen trær må fjernes, eller å planlegge passasjer for vilt som minimerer barriereeffekter. Et annet eksempel er å planlegge beskyttelsesavstand til vannmiljøer, trær og andre følsomme strukturer og miljøer, for eksempel miljøer som omfattes av biotopvern (se også avsnitt 3.2.2). Unngå betongfundamenter hvis påling eller lignende er mulig, for å minimere solcellenes direkte arealbruk. Hvis et agrivoltaisk system er mulig og planlegges innenfor parken, skal også det tas hensyn til i utformingen av solcelleparken, for eksempel ved å velge avstand mellom og høyde på panelene slik at det gir forutsetninger for lysinnstråling og jordbruksmaskiner som trengs.

Den første vurderingen av stedets egnethet og forutsetninger (avsnitt 3.1.1), naturverdikartleggingen (avsnitt 3.1.2) og utredningen av muligheter for agrivoltaisk virksomhet (avsnitt 3.1.3) er viktige underlag for utformingen.

3.1.6 Velg egnet monteringsmetode og teknologi for solcelleinstallasjonen

Velg tekniske produkter og installasjonsmetoder som fungerer best for de eco- og agrivoltaiske løsningene som planlegges. Det kreves sannsynligvis en iterativ designprosess der produkter og plasseringer velges parallelt med at planter velges og skjøtselsplanen for biologisk mangfold eller jordbruk utarbeides, ettersom alle disse er avhengige av hverandre (se figur 5). Konsekvensene av en viss monteringsmetode og en viss type solcellepanel bør dobbeltsjekkes mot plantenes behov, for eksempel gjennom en skyggeanalyse og påvirkning på vannbalansen.

Utviklede forslag bør vurderes økonomisk slik at systemet blir økonomisk gjennomførbart. Dette kan gjøres gjennom for eksempel en investeringskalkyle for de ulike involverte aktørene (dersom ulike aktører er involvert som eiere, for driften av solcellene og/eller for jordbruket) eller for helheten.

I kapittel 6 presenteres detaljerte tekniske anbefalinger og alternativer for tilpasning til og optimalisering av eco- og agrivoltaics.

3.1.7 Utarbeide en skjøtelsesplan for biologisk mangfold og/eller jordbruk

En skjøtelsesplan for biologisk mangfold og/eller jordbruk hjelper deg med å planlegge for alle relevante aspekter gjennom etablering, drift og nedmontering av en solcellepark, uansett om du velger å fokusere på agrivoltaics, ecovoltaics eller en kombinasjon av begge. Planen er viktig for å bevare, styrke og nyskape forutsetninger for biologisk mangfold og økosystemtjenester. Den er også viktig for å skape best mulige forutsetninger for jordbruksaktiviteter, dersom slike planlegges.

Den første vurderingen av stedets egnethet og forutsetninger (avsnitt 3.1.1), naturverdikartleggingen (avsnitt 3.1.2), utredningen av muligheter for agrivoltaiske systemer (avsnitt 3.1.3) og utformingen med hensyn til naturverdier (avsnitt 3.1.5) er viktige underlag for skjøtelsesplanen. Den bør utarbeides av en økolog og ved behov en fagperson innen dyrking eller dyrehold i tett dialog med solcelleentreprenøren. Skjøtelsesplanen bør inneholde:

- Detaljerte instruksjoner for hensyn til eksisterende naturverdier under etableringen av solcelleparken.
- Plan og beskrivelse av tiltak som skal gjennomføres for å øke det biologiske mangfoldet i forbindelse med at parken etableres og drives (se forslag til tiltak i avsnitt 4). Det kan inkludere både å bevare naturverdier, restaurere naturmiljøer og skape nye verdier.
- Detaljert forvaltningsplan for økologiske verdier.
- Detaljert plan for dyrking og/eller dyrehold, dersom slik planlegges. Dette kan for eksempel være i form av en forretningsplan, planteproduksjonsplan (der blant annet strategier for vekstskifte og næringsstoffer utarbeides), beiteplan eller en kombinasjon av alle.



- Plan for oppfølging og evaluering av tiltak for både å unngå og minimere negative virkninger og øke det biologiske mangfoldet.
- Beskrivelse av hvem/hvilke som er ansvarlige for gjennomføringen av planen.
- Ved behov, en inndeling av parken i ulike to- eller tredimensjonale soner for ulike aktiviteter, for eksempel:
 - o dyrkingssoner der vekster gror og der bonden og jordbruksmaskiner må kunne bevege seg;
 - o installasjonssoner der solcelleinstallasjonen og tilhørende utstyr befinner seg. Her må driftspersonell kunne bevege seg eller få tilgang til utstyr regelmessig;
 - o serviceområder der solcelleinstallasjonen og tilhørende utstyr finnes, og der drift- og servicepersonell må kunne bevege seg eller få tilgang til utstyr mer regelmessig;

- o beitesoner der beitedyr beveger seg;
- o mangfoldsoner der visse ville dyr og planter kan bevege seg eller vokse uforstyrret;
- o rekreasjonssoner der besøkende kan bevege seg mer fritt på egen hånd eller ved omvisninger.

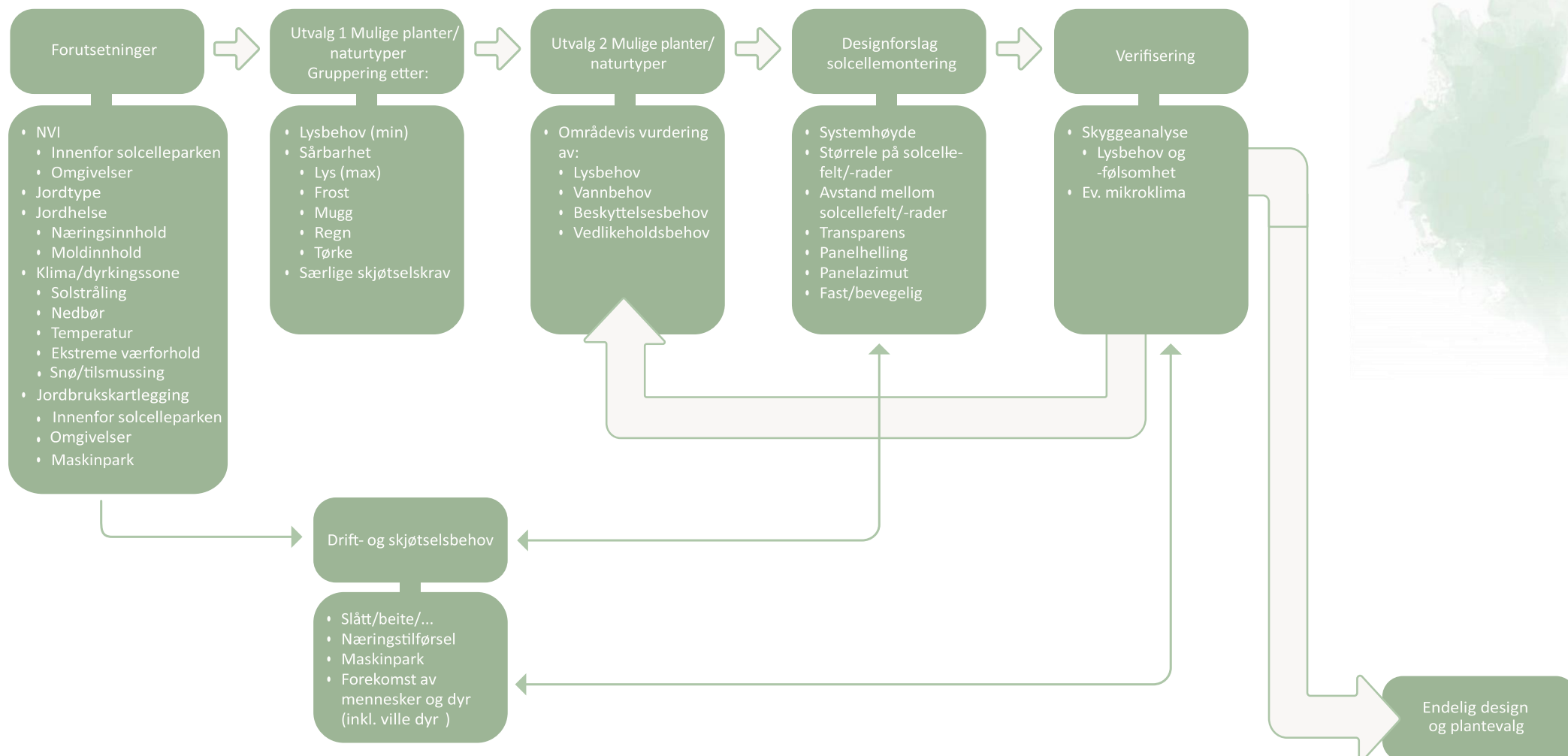
Arbeidet med å utarbeide skjøttselsplanen bør ses som en iterativ prosess. En erfaren økolog kan for eksempel utarbeide et første utkast til en plan i forbindelse med naturverdikartleggingen. For planlegging av dyrking og/eller dyrehold kan fagpersoner bidra til å skape forutsetninger for jordbruksaktiviteter. Planen bør deretter oppdateres etter hvert som planleggingen av parken utvikler seg, slik at de planlagte tiltakene både er praktisk gjennomførbare og gir størst mulig nytte for naturvern.

Skjøttselsplanen kan med fordel brukes som underlagsdokument i hørings- og godkjenningsprosesser. Ved at myndigheter og andre interessenter, for eksempel naturvernforeninger og naboer, får innsyn i og kan gi tilbakemelding på planen, kan den forbedres ytterligere. Det gir også solcelleentreprenøren en mulighet til på en transparent måte å informere om sine planer og ambisjoner for biologisk mangfold, jordbruk og andre økosystemtjenester.

Skjøttselsplanen bør ses som et dynamisk dokument som kan komme til å måtte oppdateres over tid. For eksempel dersom de gjennomførte tiltakene ikke gir den forventede nytten for biologisk mangfold, eller dersom forutsetningene for jordbruk endres.



Designprosess agri-/ekovoltaiske system



3.1.8 Utarbeide og fastsette byggetegninger

Endelige valg av tiltak for biologisk mangfold og økosystemtjenester samt landbruksaktiviteter innenfor parken og tilhørende designvalg for solcelleanlegget skal fastsettes i prosjekteringsdokumentene. I neste steg skal entreprenører utarbeide utkast til byggetegninger, som skal gjennomgå av relevant ekspertise innen solenergi, elektriske installasjoner, konstruksjoner, økologi og landbruk, før de fastsettes som byggetegninger. Byggetegningene skal omfatte alle viktige deler som påvirker solkraftproduksjon, sikkerhet, biologisk mangfold, jordbruk og andre økosystemtjenester. Dette kan for eksempel omfatte landskapsplan, soneinndeling (se avsnitt 3.1.7).



3.2 Anlegg/bygging

3.2.1 Unngå visse tiltak i sårbare perioder

Noen tiltak i anleggsfasen kan påvirke for eksempel fugler eller amfibier. For å minimere denne skaden bør tiltakene derfor gjennomføres i deler av året som ikke er spesielt sårbare for påvirkning. I tabell 2 gis eksempler på slike tiltak og når de bør unngås. Merk at disse tiltakene i første omgang helt skal unngås.

3.2.2 Oppretthold beskyttelsesavstand til sårbare naturverdier

Hold beskyttelsesavstand til vassdrag, vann (innsjø), trær, biotopvernede områder og andre miljøer og strukturer som er viktige for biologisk mangfold. Informasjon om disse bør finnes i naturvernplanen. Innenfor vernesoner skal det verken settes opp paneler eller kjøres med kjøretøy. Vernesonene skal heller ikke brukes som lagringsplass til for eksempel jordmasser eller paneler, og det skal ikke forekomme graving. Planlegg kjørerutene nøye og marker beskyttelsesavstandene tydelig med snorer, gjerder eller lignende.

Figur 2: Generelle retningslinjer for å unngå forstyrrelser i sårbare perioder

Tiltak

Unngå generelt i perioden

Tre-felling

Unngå under fuglenes hekketid for å unngå påvirkning på trelevende fugler. Ved å ikke forstyrre fuglenes hekking minimeres påvirkning på fugleartene.

15. mars til 31. juli (men det finnes også arter som hekker tidligere)

Påvirkning på dammer

Hvis anlegget kan komme til å påvirke dammer eller andre vann med amfibier, skal all påvirkning unngås under amfibienes leik- og yngleperiode.

15. mars til 31. juli i Sør-Sverige og 1. april til 31. juli i Nord-Sverige

Påvirkning på overvintringsplass for flaggermus

Hvis det finnes overvintringsplasser for flaggermus innendørs i eller i tilknytning til anlegget, skal kraftig støy og sterk belysning unngås under anleggsperioden.

1. november til 15. april i Sør-Sverige og 1. oktober til 15. mars i Nord-Sverige

Påvirkning på ynglekolonier for flaggermus

Hvis det finnes ynglekolonier av flaggermus innendørs i eller i tilknytning til solcelleparken, skal kraftig belysning under anleggstiden unngås, spesielt i nattens mørkeste timer.

15. april til 31. oktober i Sør-Sverige og 15. mai til 31. september i Nord-Sverige

BESKYTT VASSDRAG OG SMÅVANN

Aktiviteter nær vassdrag kan føre til uklarhet som påvirker vannmiljøenes økologi, og dermed forutsetninger for planter og dyr som lever i eller er knyttet til miljøet. En passende beskyttelsesavstand bør helst vurderes av en økolog basert på de naturgitte forutsetningene.

BESKYTT TRÆR

Aktiviteter nær trær kan både skade dem direkte og komprimere jorda slik at trerøttene blir skadet. I verste fall kan skade på røttene føre til at trærne dør. Retningslinjer for passende beskyttelsesavstand finnes eksempelvis i SLUs standard for trebeskyttelse ved bygging.

3.2.3 Forhindre spredning av invasive arter

Forhindre at invasive arter etablerer seg eller sprer seg i forbindelse med anlegget. Eventuelle forekomster av invasive arter bør ha blitt identifisert i naturverdikartleggingen (se avsnitt 3.1.2). Det kan være nødvendig med flere, mer målrettede kartlegginger, og en økolog med spesialkompetanse på aktuelle arter kan måtte konsulteres. Hvilke tiltak som må iverksettes og hvordan masser skal håndteres, avhenger av hvilken art det gjelder. Det er spesielt viktig å sikre at plantemateriale ikke sprer seg til andre steder via maskiner. Veiledning for håndtering av invasive arter finnes blant annet hos Naturvårdsverket.

3.2.4 Redusere skader og slitasje

Utarbeid retningslinjer for hvilke kjøretøy som kan brukes når, hvor og hvordan for å redusere slitasje på vegetasjon, jordkomprimering og andre skader. Slike retningslinjer kan variere avhengig av de naturlige forutsetningene, og kan inkludere tiltak som:

- Peke ut passende kjøreruter og avlastningsplasser for tunge kjøretøy for å begrense områdene der de får kjøre.
- Unngå kjøring under våte forhold.
- Bruke firehjulstrekk i stedet for tohjulstrekk, store dekk eller dobbelmontering samt lavt dekktrykk, om mulig.
- Legge ut gummimatter eller plater som fordeler maskinenes vekt i følsomme deler av parken, for eksempel nær trerøtter og erosjonsutsatte områder.
- Begrense eller regulere bruk av maskiner med hydraulikk for å eliminere risikoen for oljesøl, for eksempel i deler av parken.

INVASIVE ARTER

Invasive fremmede arter er arter som ikke har kommet til Sverige på naturlig måte uten menneskets hjelp.

Dette skjer for eksempel når vi planter importert plantemateriale. Noen av disse artene trives altfor godt i det svenske naturmiljøet og konkurrerer da ut andre arter som lenge har vært til stede i landet, noe som utgjør en trussel mot biologisk mangfold. Slike arter kalles invasive. Flere invasive arter skaper også økonomiske problemer for menneskene. Eksempler på invasive arter som er vanlige i Sverige i dag, er signalkreps, blomsterlupin, parkslirekne, kjempebjørnekjeks, kanadagullris, kjempebalsamin og gul skunkkalla. Det finnes en EU-liste over invasive arter, og i tillegg finnes arter som utgjør et problem i Sverige, men som ikke er med på EU-listen. Artsdatabanken har laget en risikoliste som klassifiserer ikke-innfødte arters potensial til å bli invasive.

Å GJENOPPRETTE KOMPIMERT JORD

Det er vanskelig å fullstendig gjenopprette skader som oppstår ved kjøring med tyngre kjøretøy, lagringsområder eller lignende under byggefasen. Et første steg er å identifisere hvor dypt jorda er komprimert og hvor kraftig den er, for eksempel gjennom

jordkompakthets/jordtetthetsmålinger (Ekelöf m.fl., 2010). Hvis komprimeringen er av lav grad og har skjedd i det øverste jordsjiktet, kan planter fungere som biologiske jordløsere. Det kreves at plantene har en tydelig pælerot som kan trenge gjennom komprimert jord.

Eksempler på egnede planter er sikori, alfalfa, gul lupin, oljereddik og rødkløver (Bjørkman, 2000). Gjenoppretting på dypere nivå kan kreve bruk av dypploger som bryter plogskorpa uten å blande jordprofilene, på områder hvor det ikke er nedgravde kabler. Jo dypere pakkingen er, desto vanskeligere og dyrere blir det å løsne jorden – derfor bør skader først og fremst forebygges som beskrevet tidligere.



3.2.5 Gjenopprett skader

Hvis det oppstår skader på vegetasjon eller jord på grunn av kjøring med tyngre kjøretøy, lagringsområder eller annet under anleggsperioden, skal disse gjenopprettes så langt det er mulig. Gjenoprettelsen kan inkludere tiltak som:

- Gjenetablere skadet vegetasjon ved å så eller plante vekster i egnet jord.
- Redusere komprimering ved hjelp av såkalte biologiske jordløsere eller mekanisk jordløsning (se faktarute).

3.2.6 Ta vare på plantemateriale

Dersom trær og busker må fjernes, flytt dem om mulig til et nytt voksested. Vær oppmerksom på at en slik flytting kan kreve forberedelser for at plantene skal overleve. Hvis plantene ikke kan flyttes, ta vare på plantematerialet og lagre det som vedstabler og kvisthauger for å støtte bille-, pinnsvin-, salamander- og andre dyrearter. Mer informasjon om verdiene av død ved og hvordan denne kan utnyttes best finnes i avsnitt 4.11.

3.2.7 Skap nye verdier i parken

Utfør planlagte tiltak for å styrke, restaurere og skape nye naturverdier. Avhengig av stedets forutsetninger og planlagte tiltak, handler det om å forbedre forholdene for biologisk mangfold, fremme matproduksjon eller en kombinasjon av begge. For forslag til tiltak for å skape nye verdier, se tiltaksbibliotekene i avsnitt 4 og 5. Tiltak for å fremme biologisk mangfold gjennomføres i samsvar med den utarbeidede skjøttselsplanen (se avsnitt 3.1.6). Dersom dyrking eller dyrehold skal forekomme i solcelleparken, gjennomfør alle nødvendige forberedende tiltak.



3.2.8 Evaluer entreprenørarbeidet

Før overlevering av anlegget fra entreprenøren til oppdragsgiveren eller grunneieren anbefales en sluttbefaring (i henhold til gjeldende standardavtaler som for eksempel AB eller ABT) som inkluderer relevant ekspertise innen solenergi, elektriske installasjoner, konstruksjoner, økologi og landbruk. Ved sluttbefaringen skal det fastslås om entreprenørene har oppfylt avtalte krav i henhold til kontrakt (materialer og/eller funksjoner) og utført arbeidet i samsvar med de avtalebyggetegningene.

I tillegg til de vanlige aspektene ved solcelleparker og elinstallasjoner, bør blant annet følgende kontrolleres:

- Tilstanden til jordlaget (komprimering, forurensning, status for gjenoppretting av eventuelle skader med mer)
- Systemer for oppsamling eller håndtering av regnvann

- Gjennomføring av tiltak for biologisk mangfold (for eksempel omfang, status for vekstetablering)
- Mekanisk sikkerhet for mennesker og dyr, samt beskyttelse mot skader fra maskinparken
- Dokumentasjon i form av objektspesifikke drifts- og vedlikeholdsinstruksjoner

For flere av punktene anbefales det at det gjennomføres forhåndsbefaringer (eller løpende befaringer), slik at opprinnelig status fastslås og kan brukes som referanse ved senere befaringer.

3.3 Drift

3.3.1 Vedlikehold i samsvar med plan for biologisk mangfold og/eller jordbruk

Driften av solcelleparken skal følge skjøtelsesplanen for biologisk mangfold og/eller jordbruk (se avsnitt 3.1.6). Dette inkluderer oppfølging og evaluering av implementerte tiltak og det vedlikehold som utføres. I de første årene etter etablering er det viktig å sikre at etablerte strukturer overlever og fester seg godt. Skjøtelsesplanen kan måtte oppdateres i driftsperioden basert på evalueringer.

3.3.2 Unngå belysning

Samfunnet vårt blir stadig mer opplyst av kunstig lys. Dette medfører at mange arters leveområder blir belyst i større grad om kveldene og nettene, enten direkte fra nærliggende lyskilder eller indirekte gjennom såkalt himmelglød (det svake lyset som oppstår rundt oppoverrettede lyskilder). Selv om lysforurensning er mest konsentrert i byene, strekker effekten seg langt ut på landsbygda. Nattbelysning er et problem fordi mange dyr er avhengige av mørket og er mest aktive om natten, som for eksempel de fleste pattedyr og mange insekter. Dette gir alvorlige konsekvenser for økosystemene ved at naturlige konkurranseforhold, døgnrytmer og navigasjonsevne forstyrres. Noen dyr har for eksempel vanskeligere med å finne mat i mangel på mørke, mens andre distraheres av unaturlige lyskilder (SLU, 2022). For å unngå påvirkning fra lysforurensning bør derfor all belysning unngås innenfor solcelleparken. Paneler eller skilt bør for eksempel ikke belyses i reklameøyemed.

3.3.3 Tilpass gjerder

Hoveddelen av solcelleparker i Sverige er inngjerdet. Hensikten med gjerdet er først og fremst å redusere risikoen for tyveri i anleggsfasen og de første driftsårene. Gjerder rundt store områder, som i store solcelleparker, kan hindre større pattedyrs muligheter for å bevege seg i

landskapet. Gjerder bør derfor først unngås, og deretter tilpasses for å minimere negativ påvirkning. Les mer om effekter av gjerder og mulige tilpasninger i avsnittet "tilpass for villt" i kapittel 4.14.

3.3.4 Hold beskyttelsesavstand til solcelleutstyr

Større maskiner for landbruk eller vedlikehold av naturområder skal holde en beskyttelsesavstand til solcellepaneler, rammer og elektrisk utstyr for å unngå skader. Solcellepaneler er sensitive for slag og støt, og kan bli skadet på en måte som påvirker strømproduksjonen på lang sikt selv om det ikke er synlige skader på cellene. Ved kjøring nær rammene er det risiko for at kabler lagt på rammene kan klemmes eller dras av maskinen. Det er også risiko for skade på maskinen fra skarpe metalldeler.

3.3.5 Rengjøring av solcellepaneler

Støv og forurensning fra landbruksaktivitet (for eksempel ved jordbearbeiding og høsting) kan redusere solcellepanelers effekt og i verste fall deres og systemets levetid. Derfor bør tiltak for å redusere disse effektene gjennomføres. Per i dag finnes det for lite erfaring til å vurdere behov for faste rengjøringsinstallasjoner, så anbefalingen er å

nøye overvåke forurensning og handle etter behov. For eksempel kan det være hensiktsmessig å spyle av solcellepanelene med rent vann etter innhøsting.

3.4 Demontering

En solcellepark har ofte en planlagt driftstid på rundt 30 år. Når den planlagte driftstiden nærmer seg slutten, tas beslutning om enten forlengelse av driftsavtalen eller avvikling og demontering. Ved demontering er det, som ved etablering, viktig å minimere skade på eksisterende naturverdier. Samme hensyn til biologisk mangfold skal ivaretas som under anleggsfasen, det vil si:

- Unngå visse tiltak i sårbare perioder (se avsnitt 3.2.1).
- Hold beskyttelsesavstand til sårbare naturverdier (se avsnitt 3.2.2).
- Forhindre spredning av invasive arter (se avsnitt 3.2.3).
- Reduser skader og slitasje (se avsnitt 3.2.4).
- Gjenopprett skader (se avsnitt 3.2.5).

I tillegg bør eventuell gjerder, kabler og andre kunstige strukturer knyttet til anlegget fjernes.



4. TILTAKSBIBLIOTEK FOR ECOVOLTAISKE SYSTEMER

I følgende avsnitt presenteres flere mulige tiltak for ecovoltaiske systemer, det vil si solcelleparker som bevarer og styrker forutsetningene for biologisk mangfold. Hvilke tiltak som er hensiktsmessige i hver enkelt park bør utredes i forbindelse med utarbeidelse av parkens skjøtelsesplan for biologisk mangfold av en økolog i dialog med solcelleentreprenøren, se avsnitt 3.1.6.

4.1 Velg tiltak ut fra et landskapsperspektiv og plass-spesifikke forutsetninger

Den naturverdikartleggingen som gjennomføres gir veiledning om hvilke naturverdier i området som bør styrkes gjennom tiltak. For at tiltakene som gjennomføres skal gi størst mulig nytte, bør de styrke det omkringliggende landskapets biologiske mangfold. Derfor er det viktig også på landskapsnivå å analysere hvilke naturverdier som finnes i omgivelsene. På denne måten kan en

økolog avgjøre hvilke naturverdier som bør styrkes. For en solcellepark som for eksempel ligger innenfor eikelandskapet i Sørøst-Sverige kan det være viktig å verne naturverdier knyttet til eik. For en park som ligger i et område med flere aktive eller inaktive grustak, kan det være viktig å verne sandmiljøer. Er det mangel på små vann og dammer i området kan dette være et viktig supplement for å øke det biologiske mangfoldet.

Det er ikke mulig å gi generelle prioriteringer for tiltakene beskrevet i følgende avsnitt, da tiltakene har ulik potensial avhengig av hva som finnes i omgivelsene, altså hvilken landskapsøkologisk sammenheng et tiltak utføres innenfor. Når det gjelder prioriteringer finnes det allikevel en generell anbefaling om at slåttemark alltid er å foretrekke fremfor beitemark med hensyn til biologisk mangfold. Samtidig vil det noen ganger være andre hensyn, som økonomi, som må tas, og derfor kan også beitemark være et godt valg i visse situasjoner. Flere tiltak kan også kombineres, for eksempel slåttemark i deler av parken og beitedyr i andre deler. Alle slike vurderinger bør gjøres innenfor rammen av skjøtelsesplanen for biologisk mangfold.

4.2 Etabler slåtteenger og englignende gressmarker

Formål

Skape artsrike enger og englignende gressmarker for å fremme blant annet insekter (*blomsterenger med semi-naturlig hevdpreg på norsk*).

Hvorfor er enger viktige for biologisk mangfold?

En slåttemark er en eng som ikke gjødsles og som slås, vanligvis én gang per år. Slåtteenger var tidligere en nødvendig del av jordbrukssystemet, der det slåtte plantematerialet ble brukt som fôr til dyr. Siden plantematerialet fjernes fra slåtteenga og det ikke tilføres nye næringsstoffer, blir jorda etter hvert næringsfattig. Dette næringsfattige miljøet favoriserer konkurransesvake planter og fører til en artsrik plantevegetasjon i enga.

En stor diversitet i vekster legger grunnlaget for et rikt insektmangfold. Noen insekter er generalister og kan utnytte mange ulike plantearter, mens andre er spesialister som krever bestemte plantearter. Dette betyr at et område med høy blomsterdiversitet skaper gode forhold for et bredt artsmangfold blant insekter og andre smådyr som meitemark og snegler. Dette gir igjen næring til mange virveldyr som pattedyr, amfibier, reptiler og fugler.

I tillegg kan både rovinsekter og insektspisende fugler leve av skadeinsekter på kulturplanter, kjent som biologisk kontroll, som er en viktig økosystemtjeneste som kan redusere behovet for plantevernmidler. En eng rik på blomstrende planter favner også pollinatorer som bier, humler

og sommerfugler. Et stort antall pollinatorer i naturen er avgjørende for at store deler av våre dyrkede avlinger skal gi god avling. For eksempel krever mange grønnsaker, bærbusker og frukttrær pollinatorer for utvikling av fruktene vi ønsker å spise. Nesten alle ville planter er også avhengige av pollinatorer for å produsere frø – uten pollinatorer ville plante-samfunnet være artsfattig og dominert av selv- og vindpollinerende planter som gress.

Ulike typer enger

Det finnes forskjellige typer enger basert på jordtype, fuktighet og andre naturlige forhold. Av næringsfattige enger er det særlig såkalte tørreng eller friskeng på kalkholdig eller kalkfattig jord som kan være aktuelle i solcelleparker. Tørre enger etableres på godt drenert jord (med stor



andel sand eller grus), eller jord som av annen grunn er tørr. Vegetasjonen er da ofte relativt åpen med sandflekker mellom, som utnyttes av flere insekter til reirbygging (se også avsnitt om sandflekker). På mindre veldrenert, fuktigere jord med mer leire, er det hensiktsmessig å etablere friskeng. Det er viktig å vite om jorda er kalkrik eller ikke for å tilpasse engfrøblandingen som brukes.

Hvis jorda opprinnelig er relativt eller svært næringsrik, kan det være vanskelig eller umulig å oppnå næringsfattige forhold. Dette kan for eksempel gjelde jordbruksmark som tidligere har vært dyrket og gjødslet. I slike tilfeller kan det i stedet være aktuelt å etablere englignende gressmarker. Med englignende gressmarker menes her gressmarker med en relativt stor andel blomstrende urter på relativt næringsrike marker. Slike marker vil aldri kunne ha like stor betydning for biologisk mangfold som næringsfattige slåtteenger, men sammenlignet med marker som domineres helt av gress og ikke slås, kan de være viktige. Englignende gressmarker kan være aktuelle i mange solcelleparker som anlegges på jordbruksmark.

Hvor oppstår engmarkene?

I solcelleparker vil deler av gress- og engmarkene være skyggelagte av panelene. Forholdene for planter vil derfor variere mellom de skyggefulle områdene under panelene og de solrike områdene mellom og utenfor panelene. Under panelene vil det være kjøligere og fuktigere. Det er særlig på de solrike flatene mellom og utenfor panelene at forholdene er gunstige for å utvikle en artsrik flora. Vegetasjonen under panelene kan få utvikle seg fritt, eventuelt med beiting (se mer informasjon i avsnitt 4.4.2).

Hvordan skapes engmarkene?

Hvordan engmarkene best skapes varierer ut fra de naturgitte forholdene (jordtype, tørr eller fuktig jord m.m.) og tidligere bruk av marka (dyrking, beiting m.m.). En økolog kan hjelpe med å vurdere både hvilken type eng eller englignende mark som kan etableres, og hvordan dette enklest kan gjøres. En mulighet når forholdene er gode eller ambisjonsnivået er lavere, er å kun endre skjøtselen av marka. I mange tilfeller er det også relevant å så inn engplanter. En generell arbeidsmåte for innsåing av engplanter, som kan brukes som utgangspunkt for detaljplanlegging, er som følger:

- På områdene der engplanter skal sås, må ofte jorda bearbeides med for eksempel en kultivator, etterfulgt av harving, for å skape en såkalt falsk såbed. Dette innebærer i praksis at jorda gjøres bar i to uker slik at frøbanken i det øverste jordlaget begynner å spire. Deretter harves jorda på nytt, gjerne med en kombinert maskin som kan så engfrø direkte i den harvede jorda uten flere overkjøringer.
- Det er viktig å velge frø fra stedege plantearter som er tilpasset de lokale forholdene. Mange insekter er tilpasset å leve på lokale planter, så det er viktig at kun stedege arter brukes. I tillegg er det risiko for at fremmede arter blir invasive og konkurrerer ut både stedegen flora og insektsfauna. Primært bør frø samles inn fra egnede planter i nærområdet, eller så kan høy fra nærområdet brukes for å bidra til å bevare den regionale genetiske variasjonen.

- Hvis det ikke er mulig å samle inn frø, finnes ferdige frøblandinger med stedegne arter tilpasset ulike engtyper som kan kjøpes.
- Dersom det tidligere har vært en artsrik vegetasjon på stedet, kan det finnes en frøbank fra ønskede arter i jorda som vil spire etter harving. Plantearter kan også spre seg til solcelleparken fra nærliggende eng- og beitemarker over tid.

Skjøtsel av engmarkene:

- For å opprettholde en rik engflora kreves slått, det vil si at vegetasjonen slås med ljà manuelt eller slåmaskin årlig. Slått anbefales både på de tradisjonelle slåtteengene og de englignende gressmarkene.
- Engen slås først etter at urtene har rukket å sette frø, vanligvis i slutten av juli eller senere i Sør-Sverige, og i midten til slutten av august i Nord-Sverige.

- En viktig del av slått er at det avklipte plantematerialet fjernes før det rekker å brytes ned, for å redusere næringsinnholdet i jorda over tid. Plantematerialet kan pakkes som silo-/høyballer og selges som fôr til hester eller andre husdyr. Før materialet fjernes, bør det ligge noen dager for at frøene skal slippe.
- Engmarker skal ikke gjødsles, da gjødsling fører til en artsfattig flora med dominans av nitrogen- og fosforelskende arter som hundekjeks, brennesle og høye grasarter.
- Plantevernmidler skal ikke benyttes.



Figur 7 Tørreng med bakke- timian. Foto: Ursula Zinko



Figur 8 Friskeng med engsvingel. Foto: Ursula Zinko.



Figur 9 Kultivert eng med hjemmehørende arter. Foto: Ursula Zinko.

4.3 Innføring av beite

Formål

Skape artsrike eng- og gressmarker for å fremme insektfaunaen.

Hvorfor er beiting et godt tiltak for biologisk mangfold?

Beiting skaper forstyrrelser som favoriserer konkurransesvake engplanter og hindrer gjengroing slik at områdene holdes åpne og lyse. Dette fremmer stor artsrikdom blant planter, som igjen fører til høy artsrikdom blant insekter. En stor variasjon blant insekter gir grunnlag for mange arter av pattedyr, amfibier, reptiler og fugler. Dyrenes ekskrementer gagnar dessuten ekskrementspisende insekter som gjødselbiller og gjødselfluer. Slitasjen fra tråkk skaper åpne områder som gagnar både planter og mange insektarter. I solcelleparker er spesielt sauebeiting egnet, hovedsakelig med tanke på lav risiko for skade på paneler og kabler (se avsnitt om dyrehold).

Hvor etableres beitemarkene?

I noen solcelleparker er det kanskje ikke mulig å holde større slåtteenger i hevd. Da kan beiting innføres for å holde områdene åpne. Det er også mulig å kombinere slåtteenger og beitemarker

innen samme solcellepark, slik at deler av parken har slåtteeng og resten beitemark.

I solcelleparker vil deler av gress- og engmarkene være skygget av panelene. Forholdene for planter vil derfor være forskjellige mellom skyggefulle områder under panelene og de solrike områdene mellom. Under panelene vil det være kjøligere og fuktigere. Under varme og solrike dager om sommeren, samt ved kraftig regn, kan sauer søke ly under solpanelene. De beste forholdene for utvikling av artsrik flora finnes i de solrike områdene mellom panelene.



Figur 10: Beitemark

Hvordan etableres beitemarkene?

- For å etablere en artsrik beitemark er det hensiktsmessig å anlegge engmark som beskrevet i avsnittet om slåtteenger og engliggende gressmarker.
- La engvegetasjonen etablere seg i en eller to vekstsesonger før sauene settes ut.

Skjøtsel av beitemarkene

Hvordan beite skal organiseres avhenger av både naturlige forhold og tidligere arealbruk. For å ivareta planter og insekter bør beite generelt være lavintensivt på tørre til friske marker og mer intensivt på fuktige marker. Sauebeiting kan i noen tilfeller påvirke biologisk mangfold negativt, da sauer er selektive beitere som foretrekker lavtvoksende gress og urter, og beiter disse ned til bakkenivå (Jordbruksverket, 2006). På høyere vegetasjon beiter de hovedsakelig blader. Dette kan hindre ettårige engurter i å frøsette og føre til at flerårige arter blir hardt beitet ned, noe som kan redusere arts mangfoldet (Miljøministeriet, 2021; Öckinger m.fl., 2006). Dermed er det en risiko for at kontinuerlig beiting skaper en artsfattig og mer gress-dominert vegetasjon, som i sin tur minsker insekters tilgang på pollen og nektar.

For å unngå at sau beiting skaper en artsfattigere flora, er det nyttig å følge disse rådene:

- Beitetrykket bør ikke være for høyt for å unngå at alle urter beites ned før de rekker å frøsette.
- Det beste er ofte å variere både hvor lenge et område beites og når i vekstsesongen det beites. Det beste er å variere dette mellom år, noe som bidrar til at ettårige planter, og andre som blomstrer tidlig på sommeren, har fordeler enkelte år mens planter som blomstrer senere på sommeren har fordeler andre år i samme areal. Dette vil alle planter selv om de blomstrer på forskjellig tid gjennom vekstsesongen og dermed reduseres risiko for tape artsmangfold og grasdominans.
- Flyttbare gjerder eller innhegninger kan enkelt brukes for å styre beitesesongen til forskjellige deler av området. Beiteskifte reduserer også risikoen for parasitt på sauene.

- Et annet alternativ er å alltid ha et sent beiteslipp, i begynnelsen av august, for å redusere det tidlige beitetrykket på urter og lavtvoksende gress.
- Floraen bør kartlegges, og både beitetidspunkt og dyretetthet bør evalueres jevnlig (f.eks. annethvert år) for å hindre utarming av floraen.

Det viktigste er at beiting fortsetter over tid og ikke opphører. Beitet og variasjonen i beitetrykket må være praktisk gjennomførbart for dyreeieren. God kommunikasjon mellom dyreeier, solcelleentreprenør og eventuelt involvert økolog er nødvendig.



4.4 Planting av trær og busker

Formål

Støtte pollinatorer, skape leveområder og beskyttelse for insekter og fugler.

Hvorfor plante trær og busker?

Hvis det allerede finnes stedegne trær og busker på stedet, bør disse få stå igjen så lenge som mulig. Flere trær og busker kan også plantes, forutsatt at de ikke skygger for panelene. Trær og busker utgjør leveområder for mange dyr, sopper, lav og moser, og tilbyr beskyttelse, hekkplasser og mat for mange organismer. Ved å plante trær og busker kan det biologiske mangfoldet i og rundt solcelleparker støttes. Videre kan trær og busker være en del av den grønne infrastrukturen som binder sammen ulike leveområder også utenfor parken, og muliggjøre bevegelse og spredning av dyr og planter i landskapet. Tre- og buskrader kan også ha funksjon som inngjerding eller skjerming av solcelleparken.

Hva man bør tenke på ved planting av trær og busker

- Valg av arter må tilpasses hva som finnes i det omkringliggende landskapet, for eksempel nærliggende skogsområder.
- Uansett hva som finnes i omgivelsene, er det alltid bra for biologisk mangfold med en blanding av bærrike og blomstrende stedegne busker og trær som for eksempel stedegne roser (ikke rynkerose), og arter som hagtorn, rogn, krossved, selje og morell/søtkirsebær.
- Edelløvtrær som lind, lønn, bøk og eik er generelt gode for biologisk mangfold i Sør-Sverige.
- Ved valg av arter bør blomstringstid, samt frukt- og bærsesong vurderes. Det er optimalt å velge en sammensetning av arter som kommer i blomst etter hverandre gjennom sesongen for å sikre mat tilgjengelig store deler av året (tabell 3).
- Planting bør foregå om høsten når det fortsatt er varmt og bakken har høy fuktighet for best mulig etablering.

Hvis det finnes kommersiell bær dyrking innenfor eller nær solcelleparken, kan det være nødvendig å tilpasse valg av bærplanter for å hindre spredning av skadeinsekter som *Drosophila suzukii*. En kompetent hortonom kan bistå med tilpasningen.

Tabell 3 gir eksempler på stedegne trær og buskarter, deres blomstringstid og om de bærer frukt eller nøtter/frø (omarbeidet etter Lagache, 2019).

Art	Blomstring	Frukt	Nøtter/frø
Trær			
Or	mars-april		•
Bøk	mai		•
Svarthyll	mai-juni	•	
Hagtorn	mai-juni	•	
Hassel	mars-april		•
Hegg	juni-juli	•	
Lind	juli-aug		•
Lønn	april-mai		•
Rogn	mai-juni	•	
Søtkirsebær	april-mai	•	
Selje og vier	mars-mai		
Busker			
Bjørnebær	juni-aug	•	
Trollhegg	juni-sep	•	
Bringebær	juni-juli	•	
Slåpetorn	mai-juni	•	

4.5 Anlegg av små vann og dammer

Formål

Støtte planter, insekter og andre vannlevende smådyr, amfibier og fugler.

Hvorfor anlegge små vann og dammer?

Små, grunne vannsamlinger er viktige naturmiljøer som fremmer biologisk mangfold i landskapet. De skaper en naturtype hvor det i dag ofte er mangel. Små vann og dammer fungerer som gyteområder for amfibier. I tillegg lever mange insekter og deres



Figur 11: Dam

larver (som øyestikkere) og andre virvelløse dyr i små vann og dammer.

Hvordan skapes små vann og dammer?

- Dammer graves ned til grunnvannsnivået.
- Dammer bør være grunne med en svært slak skråning.
- Dammer skal være fri for fisk og krepsdyr. I dammer med fisk reduseres levestandardene for amfibier og smådyr som biller og øyestikkerlarver, fordi fisk spiser yngel og smådyr.
- Hvis det er plass til flere små vann, kan disse graves i ulike dybder slik at en eller flere dammer tørker ut om sommeren. Slike dammer forblir fri for fisk.
- Kvist- og steinhauger kan plasseres nær dammene som skjulesteder og overvintringsplasser for amfibier og krypdyr.
- Trær og busker bør plantes slik at de enten ikke skygger dammene eller bare skyggelegger de timene på dagen som er varmest.

Vedlikehold av dammene

Det er en risiko for at dammer gror igjen. For å motvirke dette er det fordelaktig om beitedyr beiter

rundt dammen. Dersom beiting ikke er mulig, må kantvegetasjonen klippes minst én gang i året. Det klippede materialet må samles opp og fjernes. Dersom vekster som dunkjevle begynner å dominere vannet, anbefales det å klippe disse om sommeren, før dunkjevlen frør seg. Dunkjevle kan ellers raskt overta dammen og forringe vilkårene for andre planter og dyr.

VANNVIRKSOMHET

Alle typer tiltak i vannområder som endrer vannområdenes dybde, størrelse eller plassering regnes som vannvirksomhet (kapittel 11 i Miljöbalken). Å anlegge små vann og dammer eller restaurere grøfter eller bekker kan derfor kreve en melding om vannvirksomhet til Länsstyrelsen.

SMÅVANN ER BIOTOPVERNET

Småvann i jordbrukslandskapet omfattes av det generelle biotopvernet (7, kap. 11 i Miljöbalken). Det betyr at dammer er en biotop som er vernet i hele landet på grunn av sin betydning for biologisk mangfold. Dammer må ikke fjernes, og aktiviteter som kan skade deres naturverdi er ikke tillatt. Det innebærer at dammer som blir nyanlagt, avhengig av plassering, også kan bli biotopvernet. Også steinmurer kan omfattes av biotopvern.

Dersom det foreligger særlige grunner, kan en virksomhetsutøver eller grunneier få unntak fra biotopvernet.

4.6 Restaurere grøfter og bekker

Formål

Fremme planter, insekter og smådyr, amfibier og fugler.

Hvorfor restaurere grøfter og bekker?

Mange naturlige bekkeløp er blitt rettet ut og utdypet for å fremskynde avrenningen fra jorden de drenerer. Bekkene er da blitt til grøfter. Mange grøfter er senere lagt i drencrør for å skape større sammenhengende jorder som gjør det lettere for et høytytende landbruk med store maskiner. Åpne bekker bidrar med et naturmiljø bestående av rennende vann i landskapet. Rennende vann huser insekter og andre smådyr, til dels andre arter enn de som lever i stillestående dammer. Naturlige bekker slynger seg langsomt gjennom landskapet der terrenget er flatt. Det gir variasjon i strømhastighet, noe som øker antallet arter som trives i bekkemiljøet. Dessuten bidrar det til å holde igjen vannet, slik at det ikke renner bort så raskt. Dette gir en viss næringsretensjon, det vil si at næringsstoffer blir bundet til bunnen eller tatt opp av planter i stedet for å føres videre til det vassdraget eller den innsjøen der bekken munner ut.

Hvordan restaureres grøfter og bekker?

- Åpne opp bekker lagt i rør i solcelleparken.
- Rette grøfter kan få slynge seg naturlig igjen ved å gjenskape et svingende løp med gravemaskin. Alternativt kan man la naturen gjenskape slyngene ved å legge inn steinblokker og død ved i form av trestammer i vannløpet. Da tvinges vannet til siden og begynner å erodere i sidene av løpet.
- La det stå igjen en tilstrekkelig bred sone der solcellepaneler ikke settes opp, slik at grøften kan begynne å slynge seg også i bredden.
- Legg inn død ved og blokker i grøften her og der for å skape mer struktur i grøften, noe som gagner det biologiske mangfoldet.
- Busker, gjerne blomstrende og bærgivende (se avsnittet over om å plante busker og trær), kan eventuelt plantes på deler av bekkens sør- eller vestsida slik at skygge faller over vassdraget i den varmeste delen av døgnet. På den måten holdes vanntemperaturen nede, noe som øker oksygeninnholdet i vannet.



Figur 12 Naturlig slyngete bekker er verdifulle innslag i landskapet. Foto: Lisa Sandberg



Figur 13 Rette grøfter kan restaureres for å øke deres naturverdi. Foto: Lisa Sandberg

4.7 Skape sandmiljøer

Formål

Fremme visse planter, noen sopper og insekter som bygger reir i sand og sandete jordsmonn.

Hvorfor skape sandmiljøer?

Sveriges sandete områder har i lang tid vært truet av gjengroing på grunn av økt nitrogentilførsel og tidligere verneplanting av for eksempel bergfuru og rynkerose, som har bredt seg på bekostning av den naturlige sandvegetasjonen. Også redusert beite der dyr holdt landskapet åpent og skapte forstyrrelser i sandområdene gjennom tråkk, har ført til at mange sandete beitemarker har blitt tettere eller helt grodd



Figur 14 Sandflater bidrar til det biologiske mangfoldet i naturreservatet Drakamöllan, Skåne

igjen. Sandmiljøer er viktige leveområder for mange insekter, for eksempel ville bier som bygger bol i sanden. Et annet eksempel på insekter som bygger bol i sand er maurløver. Andre arter som visse planter, sopper, sandfirfisle og markpiplerke er helt avhengige av åpne sandmiljøer. Restaurering og andre tiltak er nødvendig for å bevare sandmarkenes karakterarter og andre naturverdier. Å skape sandmiljøer er derfor et godt tiltak for biologisk mangfold i områder hvor det historisk har funnet sted sandmiljøer. Også i områder hvor jordsmonnet ikke er sandete, kan tiltak for å blottlegge og forstyrre jorda være aktuelt, fordi det også finnes arter som er knyttet til blottlagt jord med andre jordfraksjoner.



Figur 15 Naturlig sandete arealer i naturreservatet Drakamöllan, Skåne

Hvordan skapes åpne sandmiljøer?

- Hvis solcelleparken ligger på sandjord med relativt tynt vegetasjonsdekke, er det godt å harve opp gresset på flere områder innenfor parken. Ulike områder kan harves ulikt hardt for å skape variasjon, så det finnes alt fra lett forstyrret vegetasjon til helt blottlagte sandflater. Totalt bør 30–50% av arealet være bar sand (Länsstyrelsen Skåne 2018).
- For å skape helt blottlagte sandflater kan det øverste jordlaget med vegetasjon og organisk materiale graves bort slik



Figur 16 Plasserte sandmiljøer i Båstad

- at underliggende sandjord blottlegges.
- Som supplement og på ikke-sandete områder kan opphøyde hauger og/eller sandrygger skapes. Disse ryggene og haugene bør ikke sås til, men holdes helt åpne.
 - Dersom sandrygger legges ut, bør de være minst 20 cm tykke, gjerne 30 cm, for at vegetasjon ikke skal trenge gjennom sanden.
 - Kornstørrelsen på sanden som tilføres bør være 0,06 til 2 mm. Sanden skal være uvasket.
 - Sandryggene eller haugene bør i størst mulig grad være solvendte og gjerne ligge i le, særlig beskyttet mot kald nordlig vind.
 - Hvis det finnes rikelig med sand, kan man lage bølgende minihauger som er 1–2 meter høye for å skape variert topografi i området.

Haugene plasseres slik at de ikke skygger for panelene.

- Det er passende at bar sand skapes relativt nær enger med rikelig nektar, slik at insekter som bygger bol også har kort vei til mat.

Stell av sandmiljøene

Artsrikdommen i sandmarkene er avhengig av dynamikken som oppstår når områdene vekselvis forstyrres og gror igjen. Derfor må jorden regelmessig forstyrres for å opprettholde naturverdiene. Hvor ofte jorden må forstyrres for å unngå gjengroing, avhenger av stedets spesifikke forutsetninger.

- Harving av mindre områder med noen års mellomrom for å opprettholde tilstrekkelig åpen sandflate.
- Hvis den åpne sandmarken ligger innenfor beitemark, bidrar tråkk fra beitedyr til å

skape forstyrrelser som hjelper til med å holde jorden åpen. Hvis mulig, er det gunstig å skape variasjon i beitetrykket på sandmarkene på ulike tider mellom år ved å bruke lett flyttbare gjerder. Da kan sauene beite på ulike deler av marken i forskjellige perioder. Harving kan supplere beite.

- Sandrygger og sandhauger kan forstyrres ved å rake overflaten om våren.

4.8 Anlegge amfibiehotell

Formål

Skape overvintringsplass for amfibier.

Hvorfor lage amfibiehotell?

Amfibier søker ly under røtter, i kvisthauger og andre hulrom. De trenger også gode overvintringsmuligheter, gjerne nær vann der de leker og parrer seg om våren. For å fremme amfibier nær små vann og dammer

kan kvisthauger legges ut eller steinrøyser bygges opp. Man kan også lage et litt mer luksuriøst amfibiehotell.

Hvordan lages amfibiehotell?

- Grav ut en grop med noen meters diameter.
- Fyll gropen med grus for å sikre god drenering, slik at området ikke holder på vann som fryser om vinteren.
- Legg en stor haug med naturstein oppå grusen, slik at det dannes mange hulrom hvor frosker kan søke ly. Kvisthauger kan også legges over steinhaugen.
- Dekk haugen med jord, unntatt på én side, hvor amfibiene kan gå inn og ut. På denne måten skapes et beskyttet og frostfritt rom for amfibiene.



Figur 17 Vanlig frøsk, en av våre vanligste amfibier som finnes nesten over hele Sverige. Foto: Lisa Sandberg



Figur 18 Insektshotell kan tilby supplerende bosteder for mange insekter. Eksempel fra Vänersborg.

4.9 Sette opp reirkasser og insektshotell

Formål

Fremme fugler og insekter.

Hvorfor lage bosteder til fugler, flaggermus og insekter?

Mange fugler, flaggermus og insekter er avhengige av døde eller døende trær med hulrom for å finne reirplasser til yngling. Dagens skogbruk, hvor trær ikke blir gamle, kombinert med intensivt jordbruk hvor det finnes færre småbiotoper hvor trær las vokse, har ført til stor mangel på gamle trær med hulrom. Derfor er det nå mangel på reirplasser for mange insekter, flaggermus og fugler. Vi kan bidra til å skape reirplasser ved å sette opp fuglekasser tilpasset ulike fuglestørrelser, flaggermuskasser og insektshotell tilpasset ulike insekttyper.



Fuglekasser

Dimensjonen på kassen, ikke minst diameteren på inngangshullet, er viktig å tilpasse til de aktuelle fugleartene som skal bruke kassen. Tips til tegninger og dimensjoner for ulike fuglearter finnes blant annet hos Naturhistoriska riksmuseet.

Flaggermuskasser

Flaggermus bor ofte nært mennesker der det finnes eldre bygninger med kriker og kroker hvor de kan hvile om dagen. Mange eldre trær som eik og andre gamle løvtrær med hulrom som flaggermus kan bruke som hvileplass eller for kolonier, står i dag i parker, det vil si nær mennesker. Flaggermus gnager ikke ut sine reir og skader verken hus eller trær. De bæsjer der de hviler, noe som kan føre til store mengder ekskrementer. For å fremme flaggermus kan man sette opp flaggermuskasser. Viktige punkter ved oppsetting av flaggermuskasse:

- Kassen bør plasseres i sørvestlig retning, ikke i fullt sollys slik at det blir for høy temperatur. Den kan for eksempel henges under en grein.
- Kassen skal plasseres slik at flaggermus lett kan fly inn.
- Inngangshullet bør ikke være altfor synlig for andre dyr.
- Heng kassen 3–4 meter over bakken.
- Det er bra å sette opp flere kasser med noen meters avstand. Flere valg øker sjansen for

at flaggermus velger et sted de kommer tilbake til.

- Åpne aldri kassen for å sjekke om flaggermus har flyttet inn. Let heller etter ekskrementer under kassen.

Insektshotell

Slik lager du insektshotell:

- Du kan velge form selv, men unngå veldig store villbie-hotell for å redusere risiko for angrep av parasittveps.
- Bor lange hull i ubehandlet tre, med diameter mellom 3 og 10 mm. Hullene skal være minst 15–20 cm dype, men ikke gå helt gjennom for å unngå at fugler, predatoriske insekter og parasittveps som spiser egg og larver, får tilgang.
- Hotellet kan også inneholde siv og hule stilker fra for eksempel bringebær eller svarthyll. Disse bør også være minst 15–20 cm lange.
- Monter gjerne et nett som bur rundt åpningene for å beskytte insektene mot fugl. Heng opp eller plasser hotellet på en solrik, synlig og regnskjermet plass.

Humlekasser

Humler bygger ofte reir i hulrom i bakken, som i gamle ganger laget av gnagere. Hvis slike naturlige hulrom ikke finnes, kan man lage kunstige for å støtte humler. Slik lager du humlekasser:

- Bruk en blomsterpotte i leire med hull i bunnen. Ca. 15 cm i diameter er passende.
- Grav en grop i bakken hvor potten får plass, helst på et solrikt sted med høyt gress.
- Fyll potten halvveis med løst pakket høy eller flis, gjerne spon fra musebur.
- Sett potten opp ned i gropen, slik at hullet er i samme høyde som bakken, og fyll jord på sidene.

Hekkekasse

Gamle trær med hulrom der det samles flis, løv, døde insekter og ekskrementer fra fugler, flaggermus og insekter utgjør leveområder for mange insekter, edderkopper og andre smådyr. En hekkkasse kan i noen grad erstatte gamle trær. Slik lager du en slik hekkkasse:

- Bruk et hult trestykke eller lag en stor kasse av ubehandlet treverk. Kassen bør ha lokk som kan åpnes eller tas av for å fylle på materiale ved behov.

- Lag et inngangshull på 2–3 cm høyt oppe på kassen hvor insekter kan krype inn og legge egg.
- Tett innersiden av bunnen og nederste deler av veggene med geotekstil eller kraftig presenning slik at noe vann kan samles i bunnen.
- Bor hull i lokket slik at regnvann kan komme inn i kassen. Lag gjerne spor for å lede vannet ned i hullene. Det er bra med litt vann i bunnen.
- Kle utsiden av bunnen med nett for å hindre mus i å komme inn i kassen.
- Fyll kassen med små og større flis av eik eller andre løvtrær, løv og vann.
- Heng den i et tre eller plasser den på bakken ved en eik. La den gjerne stå på en støtte slik at den kommer litt opp fra bakken. Da råtner den ikke så fort og varer lengre.
- La kassen gjerne stå skrått, slik at den får en tørr side og en fuktig side som gir gode forhold for ulike smådyr.



Figur 19 Hekkekasse i Käglinge rekreasjonsområdes faunalund, rett utenfor Malmö

4.10 Lage blomsterbed for sommerfugler og humler

Formål

Fremme ville pollinatorer.

Hvorfor lage blomsterbed for sommerfugler, villbier og humler?

Det er mangel på ville pollinatorer i naturen i dag. Antallet pollinatorer har gått ned på grunn av flere faktorer som intensivering av jordbruket, bruk av insektmidler, og redusert mengde småbiotoper i jordbruksområder hvor blomstrende urter kunne finnes på åkerholmer, grøftekanter og veikanter. Derfor er det positivt å fremme pollinatorer med blomsterbed som gir sommerfugler, villbier og humler mat til seg selv og larvene sine. Informasjon om hvilke planter som gagnar pollinatorer finnes for eksempel hos Jordbruksverket.

Slik lager du blomsterbed

- Anlegg mindre arealer med eng (se avsnittet om eng).
- Så inn frøblandinger med innfødte engvekster som er lokalt forekommende og tilpasset sommerfugler, bier og humler.
- Blomsterbedene må slås/klippes en gang i året på sensommeren når de har blomstret ferdig og frødd seg.

4.11 Veteranisering og fristilling av trær, lage død ved

Formål

Fremskynde utvikling av gamle trær og død ved samt hindre at eldre furuer og løvtrær skygges ut av kratt og gran.

Hvorfor veteranisere og fristille trær, og lage død ved?

Det er mangel på død ved i landskapet i dag, særlig på grunn av effektivt skogbruk. Død ved er et livsnødvendig substrat for mange sopper, moser, lav og insekter. Noen arter er spesialisert på stående død ved som nylig døde trær og stubber. Andre arter krever at trærne har falt og dannet læger. Også på liggende død ved finnes en suksesjon av arter som angriper i forskjellige stadier.

Gamle trær har egenskaper som er viktige for biologisk mangfold, som hulrâte, sprekker og hulrom, løsnet bark, vide og grovgrenede kroner og grov barkstruktur. Disse strukturene bidrar til at insekter, edderkopper, småkryp, flaggermus og fugler kan finne mer mat, skjul og reirplasser. For å øke tilgjengeligheten av trær med slike egenskaper, kan eldre trær fristilles og veteraniseres. Fristilling av eldre furuer og



løvtrær hindrer unge løvtrær og gran i å vokse inn i krona til de eldre trærne, noe som ofte fører til tidlig døde greiner og at unge trær, særlig gran, skygger ut de eldre. Veteranisering er et samlebegrep for metoder som skaper karaktertrekk på middels gamle trær som vanligvis bare finnes på gamle trær (hulrom, løs bark, døde greiner, skader på stammen). Ved veteranisering kan tilgangen på stubber, hule trær og generelt svekkede trær økes over tid.

Slik fristilles/veteraniseres trær og død ved skapes

- Fristilling skjer ved rydding av oppvoksende kratt og gran rundt eldre løvtrær og furuer. Fjern alt innenfor kronas diameter, også kratt og oppvoksende trær utenfor som kan

konkurrere ut grenene på de eldre trærne.

- Veteranisering skjer ved å skade stående trær i ulik grad slik at de raskere får hulrom, sprekker og hulrøta. Arborist eller annen ekspert bør rådføres.
- Død ved kan skapes ved ringbarking, der ytter- og innerbark rundt nederste del av stammen fjernes.
- En annen måte å drepe trær og skape død ved er å slå hull i ytter- og innerbarken med baksiden av en øks.



Figur 20 Død ved tilbyr mat og leveområder for mange dyr, sopper og laver.



Figur 21 Veteranisert tre, der en riss imiterer skaden etter et lynnedslag. Foto: Carina Greiff, Länsstyrelsen Östergötland.



Figur 22 Død ved plassert i vedstabel.

4.12 Lage vedhauger

Formål

Fremme insekter og smådyr.

Hvorfor lage vedhauger?

Det er stor mangel på død ved i landskapet på grunn av effektivt skogbruk. Den nedbrytende veden utgjør både mat og leveområder for mange insekter og deres larver, men også andre arter som moser, laver, sopper og små pattedyr. De utgjør attraktive bomiljø for små pattedyr, for eksempel pinnsvin. I tillegg fører økt mengde insekter til et rikere fugleliv.

Slik lager du vedhauger

- Lag en haug av grove trestammer, en haug med greiner eller en enkelt kunstig stubbe på steder i solcelleparken hvor de ikke er i veien.
- Materialet kan gjerne bestå av løvved.
- Materialet i samme haug bør gjerne ha ulik dimensjon og være i ulike nedbrytningsfaser.
- Haugene bør plasseres i både solrike og skyggefulle areal.

4.13 Anlegge steinrøyser og steingjerder

Formål

Fremme insekter, smådyr og krypdyr.

Hvorfor anlegge steinrøyser og steingjerder?

Steinrøyser og steingjerder utgjør leveområder for enkelte insekter, andre smådyr og krypdyr. Når steinene varmes opp av solvarmen, fungerer de som små varmelagre som både insekter og krypdyr kan utnytte. Også amfibier kan bruke steinsamlinger som skjul og muligens overvintringsplass dersom det ikke blir frost.



Figur 23 En vedhaug kan bestå av alt fra grove stokker til mindre kvister samlet i en haug.

Slik anlegger du steinrøys eller steingjerde

- Dersom bakken i solcelleparken er steinete og blokkete, og disse må ryddes bort, legg dem i en haug eller lag et fint steingjerde av dem.
- Rydd eventuelt viltvoksende vegetasjon som etter hvert kan vokse opp på solsiden. Alternativt, legg steinrøysa/gjerdet der beite holder vegetasjonen nede.
- Anlegg gjerne steinrøys/gjerde nær bekker eller små vann og dammer hvor mange insekter og amfibier lever.



Figur 24 Steinrøyser tilbyr blant annet reirplasser for krypdyr. Foto: Lisa Sandberg.

4.14 Tilrettelegge for vilt

Formål

Minimere barrierer som hindrer dyrenes bevegelse i landskapet.

Hvorfor tilrettelegge for vilt?

Dagens landskap inneholder mange barrierer og farlige passasjer for vilt, som motorveier med viltgjerder, men også andre veier, jernbaner, byer, industriområder med mer. Solcelleparker kan bli en ytterligere faktor som fører til fragmentering av landskapet og barrierer som er vanskelig for vilt å passere. Det gagner derfor viltet om det er lett å passere gjennom eller forbi en solcellepark. Få hjelp av viltforvaltere eller økologer for å finne gode løsninger. Også lokale jegere kan bidra med etterspurt kunnskap.

Slik kan inngjerding tilpasses:

- I første omgang, ikke gjerde inn solcelleparken hvis mulig.
- I andre omgang, ta ned gjerdet når det ikke lenger trengs etter anleggstiden.
- I tredje omgang, tilpass inngjerdingen ved å:

- 1) La bredere gangstier stå åpne uten gjerde. Dette kan være mulig der en kraftledning krysser solcelleparken og paneler derfor ikke kan plasseres. Alternativt kan en større viltpassasje settes av i parken, der også små vann og dammer og andre strukturer kan anlegges.
- 2) La høyt gress og busker og/eller trær vokse i den åpne korridoren. Det hjelper viltet å føle seg tryggere og å følge den høye vegetasjonen.
- 3) La det være minst 15 cm mellom gjerdet og bakken i hele eller deler av parken, slik at småvilt kan passere. Bruk myke avslutninger på toppen og bunnen av gjerdet for å unngå skader på fugler og pattedyr.
- 4) Om mulig, la det være noen åpninger i gjerdet. Det må undersøkes om viltet raskt lærer seg å finne disse åpningene.
- 5) Et ytterligere tiltak knyttet til solcelleparkens gjerde er å plante stedegne klatreplanter langs det. Passende arter kan være vivendel, bjørnebær eller eføy i Sør-Sverige – det er viktig å velge stedegne arter. Klatreplanter skaper et «buskas» langs ytterkanter av parken som gagner småfugler, småvilt og insekter.
- 6) Bruk gjerdemateriale som er tydelig synlig for fugler og pattedyr, eller øk synligheten ved å plante vegetasjon langs gjerdet som nevnt ovenfor.



4.15 Bekjempe invasive arter

Formål

Fremme biologisk mangfold tilpasset de naturlige forholdene i Sverige.

Hvorfor skal invasive arter bekjempes?

Les om hva invasive arter er og hvorfor de bør bekjempes i avsnitt 3.2.3. Eksempler på invasive plantearter vises i figur 25–28.

Slik kan du håndtere invasive arter

- I forbindelse med en naturverdikartlegging før anlegg av solcellepark, bør det også bestilles registrering av invasive arter.
- Hvis parken allerede er anlagt, kan det bestilles en kartlegging for å se om invasive arter finnes.
- En økolog med kunnskap om invasive arter kan gi råd om hvordan den aktuelle invasive arten skal bekjempes. Hvilke tiltak som må settes inn, avhenger av hvilken art det gjelder.



Figur 25 Rynkerosen. Foto: Felix Smith, Unsplash



Figur 27 Kjempebjørnekjeks. Foto: Felix Havermark



Figur 26 Kjempeslirekne. Foto: Felix Havermark



Figur 28 Kanadagulliris. Foto: Felix Smith, Ursula Zinko

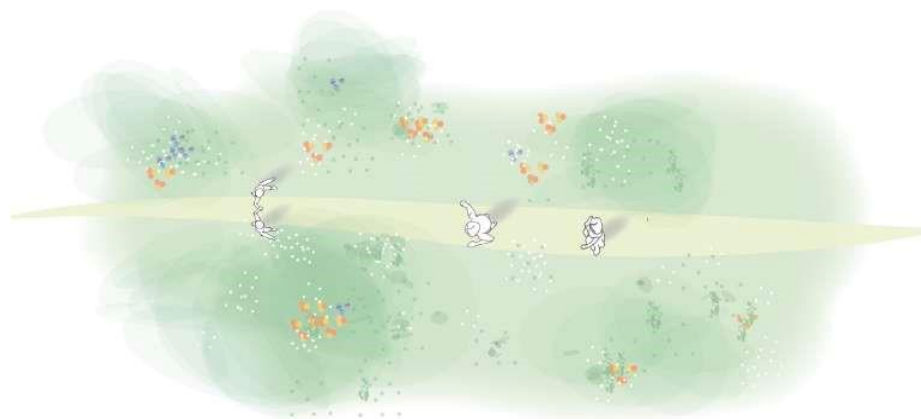
SOSIALE OG REKREATIVE VERDIER

Solcelleparken kan bli et besøksmål både for lokalbefolkningen og besøkende dersom ulike aktiviteter tilbys. Eksempler på tiltak som kan fremme sosiale verdier i solcelleparken:

- Plant trær og busker med frukt og bær både innenfor og utenfor solcelleparkens gjerde, slik at det er mulig å plukke frukt og bær.
- Anlegg engvegetasjon eller blomsterbed innenfor eller utenfor området slik at det går an å plukke buketter og nyte blomsterprakten.
- Erstatt hele eller deler av gjerdet med bærbusker eller la klatreplanter vokse på gjerdet. Dette gir også estetiske verdier og kan redusere den visuelle påvirkningen solcelleparken kan ha på landskapet.
- Gi lokalbefolkningen eller en lokal forening mulighet til å drive småskala dyrking innenfor solcelleparken.
- Lag et samlingssted med benker og bord. Hvis det er litt større, kan det brukes av for eksempel skoleklasser som kan komme for å se på tiltak for å fremme biologisk mangfold, solceller eller dyrking.
- Anlegg en tydelig vei gjennom parken som viser hvor besøkende kan gå.
- Sett opp en informasjonsslynge eller informasjonsskilt om biologisk mangfold, dyrking eller fornybar energi. Dette kan også bidra til økt forståelse og aksept for solcelleparken.
- Hvis det finnes vann i parken, kan dette brukes til pedagogiske formål eller lek, forutsatt at det ikke forstyrrer dyrelivet. For eksempel kan man anlegge en liten bane for barkebåter eller annen interaktiv vannlek, noe som kan være en morsom aktivitet for barnefamilier som besøker parken.

HVA KOSTER TILTAK FOR BIOLOGISK MANGFOLD?

Gjennomføring av ulike tiltak for biologisk mangfold medfører varierende kostnader avhengig av de naturlige forholdene, hvilke entreprenører som er tilgjengelige for skjøtsel av spesifikke naturmiljøer osv. I tabellen på neste side vises eksempler på standardkostnader for noen av de tiltakene som presenteres i dette tiltaksbiblioteket. Merk at kostnadene er standardiserte og at den faktiske prisen kan variere mye fra tilfelle til tilfelle. Generelt for enkelte tiltak kan en mulig indirekte kostnad være bortfall av elproduksjonsmuligheter, dersom deler av solcelleparken reserveres for biologisk mangfold i stedet for å maksimere antall paneler.





Tiltak	Kostnad
Anlegge slåtteenger og englignende gressmarker, lage blomsterbed for sommerfugler og humler.	Anlegg: Varierer avhengig av metode. Ingen anleggskostnad ved kun å endre skjøtsel av gras- eller slåtteenger. Eksempel: Såing av engfrøblanding koster 10 000 - 20 000 kr/ha for frø, samt kostnader for eventuell jordarbeiding (jordbearbeiding/harving) og såing, cirka 3000 kr/ha. Skjøtsel: Kostnaden for slått varierer mye avhengig av marktype, vegetasjon og helling, samt hvordan slått utføres (med lå, slåtteaggregat eller gresstrimmer). En anslått kostnad for slått med håndholdt slåmaskin samt raking og oppsamling er cirka 20 000 kr/ha.
Innføre beite	Trenger ikke gi kostnad for grunneier. Kan tvert imot redusere skjøtselskostnader fordi klipping eller slått for å holde vegetasjonen nede ikke blir nødvendig eller kan gjøres sjeldnere.
Plante trær og busker	Meget variabelt avhengig av størrelse på trær og busker. Fra cirka 500 kr per tre.
Skape sandmiljøer	Varierer avhengig av metode. Arbeidskostnad for å blottlegge sand ved harving er cirka 3000 kr/ha. For utgraving av jord/humus eller omvendt graving (grave ned uønsket vegetasjon og jord) blir kostnaden høyere.
Fuglekasser	100 - 300 kroner per kasse.
Flaggermuskasser	150 - 600 kroner per kasse.
Humlekasser	Cirka 50 kr per kasse (krukke og strø/flis).
Veteranisering og fristilling av trær, lage død ved	Arbeidskostnad fra 500 kr/time for manuelt motorisert arbeid. Eksempel: cirka 5000 kr for å lage død ved og veteranisere 10–15 trær.
Lage vedhauger	Ingen direkte kostnader. Trær og annen vegetasjon som må fjernes for å gi plass til solceller eller fristille trær kan brukes i vedhauger.
Tilpasse for vilt	Ingen direkte kostnader. Mulig arbeidskostnad for å ta ned gjerder som kun brukes i anleggsfasen.
Bekjempe invasive arter	Vanskelig å estimere kostnad fordi den totale kostnaden avhenger av art, utbredelse, marktype og metode. Eksempel: Bekjemping av middels stor bestand av arter som kanadagullris og lupin med trimmer, raking og oppsamling anslås til 70 000 kr/ha. Tiltaket må gjentas over flere år.



Figur 29: Saudrift i Solhagen, Lindesberg. Linde Energi (2020).

5. TILTAKSBIBLIOTEK FOR AGRIVOLTAISKE SYSTEMER

På mange steder rundt om i verden kombineres jordbruk med elektrisitetsproduksjon i solcelleparker, såkalte agrivoltaiske systemer (se side 6), både i forskningsprosjekter og kommersielle systemer. Forutsatt at det finnes interesserte bønder i nærheten av parken, tilgjengelig arbeidskraft, og at jorden vurderes som egnet for jordbruksvirksomhet (se avsnitt 2), kan agrivoltaiske systemer være en utmerket måte å effektivisere arealbruken på, ved at både solenergi og avlinger kan produseres (se figur 30).

Agrivoltaics er et relativt nytt felt som engasjerer stadig flere, både innen solcelleindustrien og i landbruket (Campana m.fl., 2021). Den pågående utviklingen av agrivoltaiske systemer fører på sikt til mer kunnskap om hvordan slike systemer kan

kan drives på en mest mulig optimal måte. Et eksempel er hvilke avlinger som passer sammen med ulike paneltyper og installasjoner. Erfaringen med agrivoltaiske systemer under svenske forhold er foreløpig begrenset, og dagens systemer dyrker hovedsakelig fôreng (gress- og belgvekstblandinger til dyrefôr eller bioraffineri). Forsøk med andre avlinger er enda ikke fullført og evaluert i svenske forhold, noe som gjør at de som nå tester ulike matavlinger er pionerer, og deres erfaringer er svært verdifulle for bransjen. For at flere skal satse, trengs eksperimentelle dyrkingsforsøk som evalueres og kommuniseres til solcelleaktører, bønder og matprodusenter slik at de tør investere og skalere opp. Videre må mulige forretningsmodeller for drift av agrivoltaiske systemer undersøkes.

Mulige forretningsmodeller for solcelleparker – uten spesifikt fokus på agrivoltaiske systemer – er for eksempel behandlet i prosjektet "Soliga lantbruk i norr", som det kan leses mer om i guiden som er utviklet i prosjektet. Med disse kunnskapshullene i mente presenteres i dette avsnittet ulike tiltak og retningslinjer for agrivoltaiske systemer. Fokuset ligger på tilpasninger som kan måtte gjøres i en solcellepark, i motsetning til å drive konvensjonelt jordbruk på åker eller i drivhus. Grunnleggende jordforbedring og andre aspekter ved hvordan jordbruk kan drives, vil ikke bli redegjort for. Avsnittet inkluderer både planteproduksjon (avsnitt 5.1) og dyrehold (avsnitt 5.2).

ØKT EFFEKTIVITET MED KOMBINERT AREALBRUK

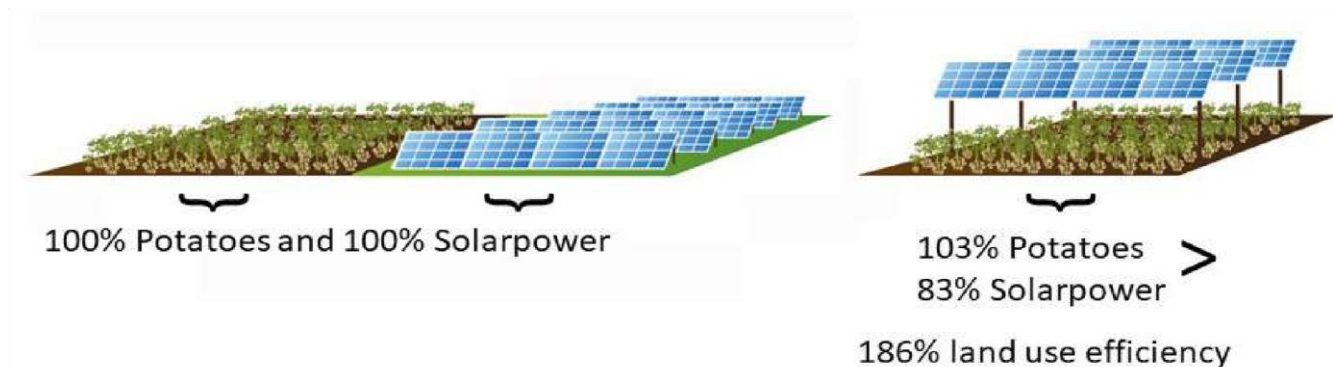
Verdens befolkning vokser, og etterspørselen etter mat, varer og energi øker – konkurransen om landarealer er stor i nesten hele verden, og forandret arealbruk er den største årsaken til tap av biologisk mangfold. Ved å kombinere flere aktiviteter på samme areal effektiviseres arealbruken, noe som kan bidra til å unngå utbygging av flere naturområder og gi mulighet for at arealer settes ut av drift og får gjenvinne seg. Å dyrke mat og produsere energi i samme solcellepark er et godt eksempel på hvordan den totale produktiviteten på et gitt landareal kan økes (se eksempel på potet i figur 30).

5.1 Dyrking

5.1.1 Dyrkingsinstruksjoner i agrivoltaiske systemer

Når solcelleparken planlegges, er det viktig å tydelig kommunisere til alle involverte om intensjonen er å dyrke mat, for å minimere overkjøringer med tunge maskiner, spesielt på de områdene som skal dyrkes mellom radene med solcellepaneler. Ved å plassere transformatorene i parkens hovedgang, kan transport i stor grad unngås mellom radene. Inspeksjon av enkelte paneler kan utføres til fots. Hvor i solcelleparken dyrking kan utføres, avhenger av parkens utforming. I Sverige er det vanligste i dag radmonterte solcelleparker. I disse systemene er det mest hensiktsmessig å plassere dyrkingen på

arealet mellom solpanelene (figur 31), selv om det også er mulig å dyrke innenfor hele det resterende arealet i parken. Det er også mulig å dyrke under solpanelene, men da denne delen ofte er sterkt skyggelagt, egner den seg bare til skyggetålede avlinger. Internasjonalt finnes også solcellepaneler montert på opphøyde stativer, noe som ennå ikke forekommer i Sverige. Da må det ikke tas hensyn til rader, og hele arealet under modulene kan dyrkes opp (figur 31).



Figur 30 Solcellepaneler på bakken (til venstre) og solcellepaneler på opphøyde stativer der dyrking kan foregå under panelene (til høyre)

Copyright © Fraunhofer ISE

Når et agrivoltaisk system skal startes opp, kan det være hensiktsmessig å i en skjøtselsplan for jordbruk (se avsnitt 3.1.6) lage en detaljert plan for hvor dyrkingen skal lokaliseres. Dette gjøres best ved hjelp av en tegning/kart over solcelleparken:

- Siden dyrking innebærer jordbearbeiding, bør ikke deler av parken med nedgravde kabler brukes. Marker ut hvor kablene ligger for å unngå disse.
- Tegn inn serviceveier for for eksempel reparasjon av solceller samt potensielle oppstillingsplasser for innhøsting. Dyrking bør unngås her.

5.1.2 Valg av avlinger

I en solcellepark kan en rekke planter dyrkes; mat, dyrefôr, fuglefrø, frø til såing (dyrkede og ville planter) og snittblomster. Dyrkingssystemet kan være ettårig, flerårig, vedaktig og/eller bestå av mer utpreget urteaktig vegetasjon. Produksjon av hageplanter kan også være mulig. Panelene skaper soner med varierende tilgang til sollys, noe som er gunstig for produksjon av ulike typer vegetasjon i forskjellige vekststadier. Avhengig av radavstanden er det mulig å dyrke mer enn én av de foreslåtte avlingene i radene, for eksempel en lavere og en høyere avling.

Selv om nesten alle typer avlinger kan dyrkes i agrivoltaiske systemer, forventes ulike avlingsresultater på grunn av skyggeeffektene fra solcellene (Trommsdorff m.fl., 2020). Dette beskrives nærmere nedenfor sammen med andre parametere som avgjør hvilke typer avlinger som passer for hvilken solcellepark.



Figur 31 Dyrking kan foregå enten under solcellepanelene (t.v.) eller mellom dem (t.h.), avhengig av panelenes utforming.

Foto t.v.: Copyright © Fraunhofer ISE. Foto t.h.: Copyright © Christian Dupraz, INRAE

Solinnstråling og skyggelegging

Solinnstråling og skyggeeffekter varierer avhengig av solcellepanelenes design og størrelse, avstanden mellom feltene/radene, hvilken retning panelene er rettet mot, og hvor i landet parken er lokalisert (se avsnitt 6.2).

Solinnstrålingen varierer også med årstidene.

Ulike avlinger tåler skygge ulikt (se tabell 4), hvor begrenset innstråling kan føre til dårligere vekst og dermed avkastning for mer lyskrevende arter. Fruktbærende planter som tomater klarer ofte lavere innstråling når grener og blader vokser, mens høyere lysnivåer kreves for fruktens vekst. UV-lys begrenser patogene sopper som kan angripe enkelte avlinger. Under mer skyggelagte forhold er det viktig å fokusere på sorter med høy resistens og ha en strategi for bekjempelse av bladsykdommer, da disse ellers kan kraftig redusere avlingen.

For å kartlegge solinnstråling mellom radene i parken, kan det gjøres en skyggeanalyse (se avsnitt 6.2.2 Lysforvaltning), som gir grunnlag for hvilke typer avlinger som passer (se tabell 4).

Tabell 4 Eksempler på avlinger som kan dyrkes i solcelleparken, delt etter lysbehov (ønsket Daily Light Integral, DLI) (f.eks. Zambrano-Prado m.fl., 2021; Cossu m.fl., 2020). Omtrentlig omregning av DLI til globalstråling kan gjøres med faktoren 132 Wh/mol.

Lave lyskrav: ca 6–10 mol/m ² /dag	Middels høye: ca 12–20 mol/m ² /dag	Høye: ca 22–40 mol/m ² /dag
Kålvekster (f. eks. hodekål, grønnkål, blomkål, brokkoli)	Asiatiske bladgrønnsaker (f.eks. pak choi)	Blåbær
Mynte	Buskbønner	Bønner
Persille	Bringebær	Chili/paprika*
Salat	Jordbær	Agurkvekster (f.eks. agurk og squash)
Selleri	Mangold	Oljefrøvekster (raps, rybs)
Spinat	Gulrot	Ruccola
Ramsløk	Potet	Salvie
Vannkarse	Purreløk	Korn (hvet, bygg, havre, rug)
Asparges	Reddik	Timian
	Svart reddik	Tomat*
	Rødbeter	Vindruer
	Rips/solbær/sykkelsbær)	

*Krever drivhus

Jordtype

Hvilken jordtype som finnes i solcelleparken er avgjørende for hvilke avlinger som egner seg. Enkelte avlinger passer bedre i visse jordtyper, mens andre gir betydelig dårligere avkastning i samme jord. For eksempel kan ikke potet- og gulrotrøtter trenge gjennom tung leirjord, mens kålrøtter klarer dette betydelig bedre.

Vekstsone

Vekstsesongen varierer i ulike deler av Sverige, ofte omtalt som klimatiske vekstsoner. Enkelte avlinger trenger lang utviklingstid og/eller varme somre, og kan derfor være uegnet for dyrking i for eksempel Nord-Sverige. Finn ut hvilken vekstsone solcelleparken ligger i ved å studere det digitale sonekartet utarbeidet av Riksförbundet Svensk Trädgård. Husk at solcelleplasseringen kan påvirke mikroklimaet og dermed vekstsonen lokalt (se avsnitt 6.2.1 Mindre endring i mikroklima under modulene).

Marked

For at en avling skal være økonomisk lønnsom å dyrke i solcelleparken, kreves det infrastruktur for transport av både innsatsvarer og produkter.

Lagring og/eller foredling kan være viktig for å møte etterspørselen av en avling. Det er viktig å ha rask tilgang til foredlings- eller salgssteder for å sikre varekvalitet. Det må også være etterspørsel etter produktet. Per i dag er kun en liten del av frukten og grønnsakene som konsumeres i landet svenskproduserte (Jordbruksverket, 2021). Det er derfor sannsynlig at etterspørselen etter betydelig mer svensk frukt og grønt kan bygges opp. Utfordringen er å holde produksjonskostnadene lave nok til å kunne konkurrere både på pris og kvalitet i markedet.

AGRIVOLTAISKE SYSTEMER ER UNDER UTVIKLING I SVERIGE

Rundt om i verden finnes det mange agrivoltaiske systemer, både forsknings- og kommersielle anlegg. Det dyrkes alt fra fôrvekster, korn, oljevekster, rotfrukter og potet til salat, tomat, chili, frukttrær og bær som bringebær, rips og blåbær – nesten alle typer avlinger har blitt testet i solcelleparker. Det finnes til og med solcelleparker som også er vinmarker, samt anlegg som er utformet som drivhus! I Sverige er erfaringene foreløpig begrenset til dyrking av fôrvekster. Med investeringer og vilje til innovasjon fra solcelleaktører, bønder og næringsmiddelindustrien, kan agrivoltaiske systemer likevel få stor suksess også i Sverige. Hver erfaring som deles er viktig og bidrar til utviklingen. Siden mange solcelleparker i dag bygges på dyrket mark, er det viktig for nåværende og fremtidig matsikkerhet å finne måter å kombinere solenergiproduksjon med matproduksjon.



Figur 32 Ripsdyrking i en solcellepark. Foto: Copyright © BayWa r.e

VEKSTSKIFTE

Vekstskifte er et viktig verktøy for å sikre god tilførsel av næringsstoffer, forebygge plantesykdommer og regulere ugress. Vekstskifte innebærer at samme ettårige avling ikke dyrkes sesong etter sesong. I stedet planlegges en flerårig rekke av avlinger fra ulike plantefamilier. Vekstskifte kan også hjelpe dyrkeren med å gi avlingen noe av dens nitrogentilførsel ved å dyrke nitrogenfikserende belgvekster med jevne mellomrom. Et vekstskifte varer vanligvis fra fire til sju år. Hvordan vekstskiftet skal se ut, avhenger blant annet av jordtype og jordstruktur, hvilke skadegjørere som finnes, samt tilgang på gjødsel. Hvis husdyrgjødsel ikke er tilgjengelig, bør grønngjødslingsplanter få større plass i vekstskiftet. Noen eksempler på vekstskifter kan ses i tabell 5.

Tabell 5:

År	Sandjord I	Sandjord II	Leirjord I	Leirjord II
1	Spelt med innsådd eng	Korn med innsådd eng	Vårsådd korn med innsådd eng	Høstraps med innsådd eng
2	Eng	Eng	Eng	Eng
3	Eng	Eng	Eng	Eng
4	Vårhvete med fangvekst	Kålvekster med fangvekst	Kålvekster med fangvekst	Høstraps
5	Gulrot + asiatiske bladgrønnsaker	Grønnsaker som ikke er i korsblomstfamilien (f.eks. rødbete, mangold, selleri, reddik)	Korn med fangvekst	Høsthvete
6	Buskbønne med fangvekst	Grøngjødsel	Bondebønne og fangvekst	Feldsalat og kløvereng
7	Purreløk	Gulrøtter og løk	Selleri, purreløk og rødbete	Høsthvete

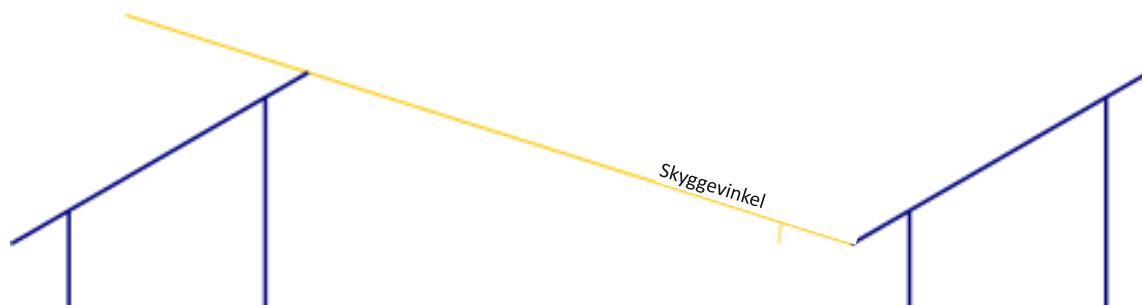
AGRIVOLTAISKE SYSTEMER OG BIOLOGISK MANGFOLD

Det finnes potensial for å fremme biologisk mangfold også i agrivoltaiske systemer ved å tilpasse skjøtselstiltak og/eller skape skjul, reirplasser og tilgang til mat for insekter, fugler, pattedyr og andre dyr. Mange av de tiltak som foreslås for biologisk mangfold i tiltaksbiblioteket (avsnitt 4) kan kombineres med agrivoltaiske systemer, for eksempel i ulike deler av solcelleparken. Det kan også innebære å la deler av feltene stå ubrukt etter høsting for å gi fugler mat om vinteren. Å fremme biologisk mangfold i et dyrkingssystem gir økosystemtjenester som støtter avlingsresultatene, som pollinering, biologisk kontroll og nedbryting.

Uegnede avlinger

Dagens kunnskapsnivå tyder på at følgende typer avlinger er mindre egnede for agrivoltaiske systemer:

- Svært solelskende planter som solsikke og mais blir sannsynligvis sterkt påvirket av skyggeeffekten fra panelene. Vekst og avlingsnivå forventes å bli lave, og plantene vil dermed sannsynligvis ikke være lønnsomme å dyrke.
- Svært høye planter (i mellomroms-agrivoltaiske systemer) kan være uhensiktsmessige siden de risikerer å skygge panelene i radmonterte solcelleparker, noe som fører til lavere energiproduksjon.
- Hvor høye plantene kan være avgjøres av panelenes design og mål (se figur 33). Dersom radene er veldig brede, kan det være mulig å dyrke høyere vekster som tåler skygge på de nedre delene av stilken/stammen bak panelene. Risikoen for skygge oppstår derimot ikke i solcelleparker med høye stativer.
- Avlinger som krever tunge maskiner, som storskala potetopptaker, kan føre til jordpakking og forstyrrelser som gjør monteringsstativer for solpaneler skjeve eller ustabile.



Figur 33. Planter som dyrkes mellom solcellepanel-rader bør ikke vokse høyere enn en tenkt linje mellom baksiden av én rad og forsiden av neste rad (den gule linjen). Illustrasjon: Michiel van Noord, RISE

5.1.3 Skjøtsel

Landbruksmaskiner

Sammenlignet med konvensjonelle åkre kan det dyrkbare arealet være begrenset i solcelleparker. Dette kan bety at landbruksmaskiner som kultivatorer og såmaskiner av standard størrelse ikke kan brukes, men dette avhenger av solcelleparkens utforming. Dersom parken har paneler på høye stativer, kan flere av de vanlige landbruksmaskinene brukes. I radmonterte solcelleparker avgjør radbredden hvilke maskiner (med hvilken arbeidsbredde) som er mulig å bruke. Dersom man allerede fra starten planlegger dyrking i parken, kan radbreddene tilpasses standardbredder på landbruksmaskiner eller maskinparken til en bestemt bonde. Dersom radene mellom panelene er mer konvensjonelle (mellom 3–6 meter i Sverige i dag (Björnsson m.fl., 2022)), kan det være behov for landbruksmaskiner av mindre modeller. De minste maskinene i dag er 3–4 meter brede. Hvis avstanden mellom panelradene er mindre enn dette, må arbeidet utføres med håndredskaper.

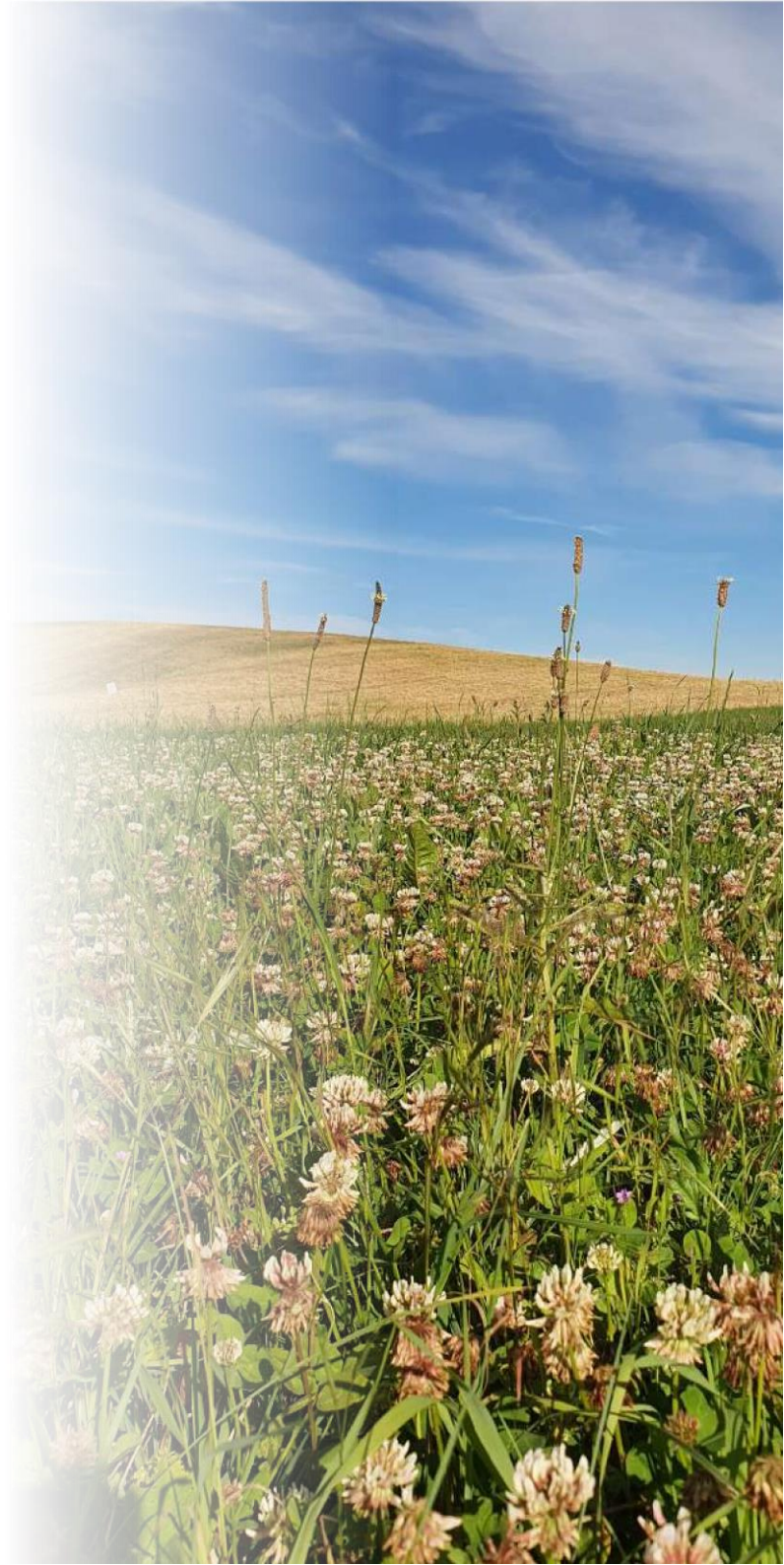
Landbruksmaskiner varierer i størrelse avhengig av bruksområde. Jordbearbeidingsmaskiner har ofte en arbeidsbredde mellom 3 og 12 meter, mens utstyr for kjemisk plantevern har en utbrettbar bom med arbeidsbredde mellom 12 og 36 meter.

Jordforbedrende tiltak

Uansett jordtype er dyrking avhengig av kontinuerlige jordforbedringstiltak for å bedre jordstrukturen og øke moldinnholdet.

Jordforbedring gjør blant annet at jordens evne til å holde på vann øker, og næringsstoffer blir mer tilgjengelige. Det finnes flere metoder for jordforbedring:

- **Engvekster.** Dyrking av engvekster, som ofte består av gras- og belgvekster, er en effektiv måte å forbedre jorden på. Engdyrking kan legges til i vekstskiftet eller være flerårig. En flerårig eng med dyptgående planter er å foretrekke. Det kan derfor være en god idé å starte et agrivoltaisk system med engdyrking.
- **Organisk gjødsel.** Det finnes ulike typer organisk gjødsel, og tilgjengeligheten avgjør ofte hvilken som brukes. For eksempel bruker gartnerier som ligger ved hestegårder ofte husdyrgjødsel. I tillegg til husdyrgjødsel finnes grønnkjødsling (fra planter), som med fordel kan integreres i solcelleparkens vekstskifte, og biogjødsel (biprodukt fra biogassproduksjon).
- **Biokull.** Biokull er organisk materiale, som tre- eller halmrester, som er oppvarmet til svært høye temperaturer ($>350\text{ °C}$) i oksygenfrie forhold (pyrolyse). Tilførsel av biokull øker jordens karboninnhold og evne til å holde på vann. Biokull kan mettes med næringsstoffer fra bløtgjødsel, biogjødsel eller handelsgjødsel, og fungerer da som en varig næringskilde. Biokull er ofte rikt på fosfor og basiske mineraler.
- **Mellomvekster.** En mellomvekst dyrkes mellom to hovedavlinger, enten som sommer-mellomvekst etter en tidlig hovedavling, eller som vinter-mellomvekst i Sør-Sverige. Mellomvekster kan være én planteart eller en blanding av flere. Formålet er å redusere næringstap, forbedre jordens fruktbarhet, løsne jorda og fortrenge ugress. Eksempler på mellomvekster er bokhvete, honningurt, oljereddik, sennep og belgvekster som blodkløver, alexandrinerkløver og vikker. Hvilken mellomvekst som egner seg i solcelleparken avhenger av hvilke hovedavlinger som dyrkes.



Dialog med bonden er alfa og omega

Når et agrivoltaisk system skal etableres bør solcelleentreprenøren, grunneieren og eventuelt den leiende bonden sammen utforme systemet etter stedets forutsetninger. Dette er viktig for å få et anlegg som tar hensyn til både strømproduksjon og dyrking. Dialogen bør starte tidlig i planleggingen for å kunne tilpasse den tekniske utformingen etter det landbruket som skal drives (mer om teknisk utforming i avsnitt 7).

Aspekter som bør tas opp i dialogen inkluderer:

- Risiko for at kjøring med landbruksmaskiner ved jordarbeiding, spredning av plantevernmidler eller gjødsel samt ved innhøsting av korn eller oljevekster medfører at solcellene blir støvete eller skitne, noe som kan redusere panelenes effekt.

- Risiko for at landbruksmaskiner kolliderer med panelene.
- Valg av avlinger, blant annet med tanke på at avlingene ikke skal skygge for panelene (se figur 33).
- Hvordan vannsituasjonen skal sikres. Vanntilgang kan påvirkes av panelene som kan fungere som regnbeskyttelse. Vann kan dessuten samle seg under panelenes laveste punkt. Avhengig av jordtype og hvilke avlinger som dyrkes, kan et vanningsystem (for eksempel dryppvanning) være nødvendig for å sikre jevn vanntilgang, og overvann kan trenge å dreneres bort til en vanningsdam for å unngå vannmettet og oksygenfri jord.

KONTAKTMULIGHETER FOR Å FINNE INTERESSERTE BØNDER

For å bygge opp et agrivoltaisk system trengs først og fremst bønder eller hagebrukere som er interesserte i å dyrke eller drive husdyrhold i en solcellepark. Det finnes flere mulige kontaktveier for å finne aktuelle aktører:

- Nærliggende landbruksvirksomheter.
- Rådgivende og/eller bransje- og interesseorganisasjoner som Lantbrukarnas Riksförbund (LRF), Svensk Raps, Svenska Vallföreningen og Hushållningssällskapet.
- Lokale hageforeninger og planteskoler, REKO-ringer og dyrkingskooperativer.
- Universiteter (institutter for utdanning av agronomer, hortonomer og hageingeniører, landskapsingeniører), forskningsinstitutter (med fokus på jordbruks- og hageforskning), naturbruksgymnas og fagskoler med jordbruk- og hagefag.
- Tidsskrifter rettet mot bønder og gartnerier, for eksempel ATL, Land, Viola, Jordbruksaktuellt og Arvensis.

ØKONOMI FOR AGRIVOLTAISKE SYSTEMER

Sammenlignet med å bygge en konvensjonell solcellepark krever agrivoltaiske systemer ofte en større investering. Noen omtrentlige tall fra Lindahl m.fl., 2022, Fraunhofer ISE, 2020 og Agostini, 2021 finnes i tabellen nedenfor.

Investeringskostnad (kSEK/MWp)	Konvensjonell solcellepark (også i % av konvensjonell)	Overliggende agrivoltaisk system (vekstskifte)	Overliggende agrivoltaisk system (bær, frukt og stauder)
Solcellemoduler	2200–3100	2200–3600 (100–165%)	2200–3600
Monteringssystem	750–2600	3200–6000 (190–800%)	1300–2200 (170–295%)
Mark- og installasjonsarbeid	700–1650 2600 inkl. el-materiell	2500–3500 (250–500%) 200% inkl. el-materiell)	1200–1800 (120–260%)

Økte kostnader for solcellemoduler oppstår særlig hvis det kreves spesielle mål, semitransparente eller tosidige solcellemoduler for lysdistribusjon. For mellomroms-agrivoltaiske systemer kan ofte samme type monteringsystem brukes som i konvensjonelle solcelleanlegg, så fremt ikke modulene plasseres vertikalt. En mindre tilleggskostnad omfatter et antall beskyttelsestiltak, se kapittel 6.

Økt arealbruk sammenlignet med vanlige solcelleanlegg kan være en fordyrende faktor. Typiske jordleiepriser i Sverige ligger mellom 2,8–25 tusen SEK/MWp/år (Lindahl m.fl., 2022). Et agrivoltaisk system innebærer ofte en viss utstrekning, i noen tilfeller opp mot over 200% eller mer. Samtidig kan agrivoltaiske systemer også innebære lavere jordleie eller at kostnaden deles på flere aktører (Fraunhofer ISE, 2022).

Økt arealbruk eller mer sentralisert plassering av vekselrettere kan føre til lengre kabelstrekk. Mange valg påvirker kabellengdene, slik som lengde og bredde på radene, strengkonfigurasjon og plassering av vekselretter og nettstasjon. Sammenligning av fire ulike kabelkonfigurasjoner for tre forskjellige solcellemonteringer viser at det er mulig å optimalisere for kabellengder, men i praksis blir det ofte en økning for minst én kabeltype.

Økningen for AC-kabler bør maksimalt være på samme nivå som arealforbruket, mens DC-kabler mest påvirkes av avstandene til vekselretterne, men kan reduseres hvis radene gjøres bredere.

Å starte og drive et agrivoltaisk system krever også investeringer for å tilpasse maskinparken. Landbruksmaskiner kan kjøpes både nye og brukte, og det finnes mange ulike merker og modeller i forskjellig prisklasse. Det er også vanlig at ekstra arbeidstid på feltet må påregnes, sammenliknet med tradisjonelle åkre, fordi kjøringen må tilpasses for å unngå solcellepanelene. Det er imidlertid vanskelig å beregne den ekstra tidsbruken og dermed også kostnadene.

Kombineres planteproduksjon og/eller husdyrhold med solpaneler, gir dette inntekter både fra salg av energi og produkter fra avling og slakt. Det finnes allerede noen finansieringsprogrammer i EU for å utvikle agrivoltaiske systemer (for eksempel fra italienske Next Generation EU-fondet), men slike systemer omfattes foreløpig ikke av EUs felles landbrukspolitikk.

5.2 Dyrehold i agrivoltaiske solcelleparker

I agrivoltaiske solcelleparker kan dyrehold inngå, enten alene eller sammen med planteproduksjon, og dette kan også variere gjennom sesongen. Solcellepanelene gir beskyttelse mot sol, regn og vind for beitedyr, mens dyrene hjelper med å holde vegetasjonen nede, noe som er nødvendig for at panelene ikke skal bli skyggelagt. Etter innhøsting av engvekster eller avlinger kan dyrene bidra med å beite ned igjenstående planter og tråkke opp jorda før ny såing. Dyrehold kan derfor fremme dyrevelferd og redusere behovet for maskinbasert skjøtsel. Samtidig gjødsler dyrene marka og øker fruktbareheten, noe som er gunstig for dem som vil kombinere dyrehold med dyrking.

Ikke alle dyreslag egner seg i solcelleparker. Store og tunge dyr som hest og ku kan ødelegge konstruksjonene, mens gris og geit kan skade kabler til solpanelene. Sau og fjørfe (kylling, høns, gjess m.fl.) anbefales, og honningbier fungerer også godt. For å få til dyrehold kreves det interesserte bønder eller birøktere, og kontakt med nærliggende gårdsbruk er mest praktisk. Mange fylkeskommuner har ordninger som kobler sammen markeiere og dyreiere for utveksling av beitearealer.

Relevante anbefalinger og regler for ulike dyreslag i slike anlegg sammenfattes ofte i lokale veiledere, og dyrehold er regulert etter gjeldende forskrifter om blant annet tillatt dyretetthet, tillatelser og ansvar rundt dyrevelferd og sykdomshåndtering. Nærmere info om dette gis av Mattilsynet og Landbruksdirektoratet.

Sau

Sauedrift forekommer i flere solcelleparker i Sverige (Björnsson m.fl. 2022). Sau avles for produksjon av kjøtt, melk, ull og skinn. Utviklingen av solcelleparken må tilpasses slik at verken sau eller moduler blir skadet. For eksempel skal panelene ikke ha skarpe kanter, og kabler skal monteres slik at dyrene ikke kan sette seg fast i dem (Schotman m.fl., 2021). Det er også viktig at alt elektrisk utstyr er godt beskyttet og utilgjengelig for dyrene.

Siden sau er selektive i hva de spiser, kan beite måtte kombineres med maskinell klipping for at panelene ikke skal skyggelegges av vegetasjonen i parken (Schotman m.fl., 2021). For at beitet skal bli mer effektivt, kan solcelleparken

deles inn i mindre seksjoner, da dyrene blir mindre selektive i mindre areal. Flyttes dyrene mellom ulike skifter (beiter), reduseres også parasitttrykket fra for eksempel innvollsorm.

Om en park egner seg som beitemark for sau, må vurderes i hvert enkelt tilfelle. Enkelte marker kan trenge innsåing med gress og urter for å sikre nok næring til dyrene. Det anbefales ikke å innføre beite på arealer med påviste forurensninger, for eksempel en solcellepark bygget på en deponi.



Figur 34 Sauer med lam i solcelleparken Solhagen i Lindesberg. Foto: Linde Energi

Fjørfe

Fjørfe som kylling, verpehøns og gjess kan også brukes for å beite ned vegetasjonen i solcelleparken (BRE, 2014). Også kalkuner og vaktelfugler kan oppholde seg blant panelene. I tillegg til at panelene gir sol- og regneskyttelse, kan en solcellepark også gi noe beskyttelse mot rovfugler.

Tamhøns trenger tilgang til sittpinner (vagl) eller lignende hvor de kan hvile eller sitte og speide i fred og ro. Det er derfor viktig å integrere sittpinner i solcellesystemet, som kan monteres under panelene. At det skal finnes sittpinner er både



Figur 35 Fjørfe i solcellepark. Foto: Jeff Henderson, Geneva Peeps Egg Co-op – Geneva, New York, USA

lovpålagt, men også viktig for å unngå at fuglene fristes til å sitte på selve solpanelene. Et annet poeng er at fjørfe ikke er like effektive som sau til å beite ned vegetasjonen. Derfor er det nødvendig å klippe ned planter for å forhindre at solpanelene skyggelegges.

Honningbier

Bikuber kan plasseres i solcelleparken. Honningbier kan i tillegg til honning gi bivoks, dronninggelé, pollen – og dronelarver ventes å bli en fremtidig proteinkilde (Östberg Rundquist, 2020). Dersom det dyrkes avlinger som krever eller gagnar av

pollinering (slik som oljevekster, kløverfrø, åkerbønner, frukt og bær) i solcelleparken og/eller i omkringliggende felt, kan honningbier bidra med denne økosystemtjenesten. Mange bønder leier birøktere for pollineringstjenester for å potensielt få økte avlinger og jevnere råvarekvalitet. I slike tilfeller bør birøkteren og planteprodusenten sammen kartlegge området for å finne passende plasser for bikubene. En generell rettesnor er å plassere dem i morgensol og i le for vind, noe som solpanelene ofte tilbyr.



Figur 36 Fjørfe i solcellepark. Foto: Jeff Henderson, Geneva Peeps Egg Co-op – Geneva, New York, USA



Figur 37 Honningbier i solcellepark. Foto: NREL/Dennis Schroeder.

Det er viktig å sikre at solcelleparken og området rundt kan tilby pollen- og nektarressurser gjennom hele vekstsesongen – fra mars til oktober. Dette er spesielt viktig da honningbier og ville bier risikerer å konkurrere om ressursene, særlig i områder med sparsom tilgang på blomster (Lindström & Smith, 2022). Honningbier flyr oftest ikke mer enn 3 km fra kuben for å finne mat (Friberg & Haldén, 2016), så det er viktig å bevare blomstermangfoldet innen denne radiusen.

Et godt tiltak er å etablere enger i solcelleparken (se avsnitt 4). Honningbier må, på samme måte som ville bier, ha tilgang til vann, noe som for eksempel kan løses ved å anlegge dammer og småvann dersom naturlige vannkilder mangler i nærheten (se avsnitt 4).





6. SOLCELLETEKNISKE LØSNINGER FOR ECO- OG AGRIVOLTAISKE SYSTEMER

I dette avsnittet presenteres minimumskrav og generelle tekniske anbefalinger for vellykkede eco- og agrivoltaiske systemer. Generelt er ecovoltaiske systemer mindre avhengige av valg av tekniske løsninger enn agrivoltaiske systemer, derfor fokuserer dette avsnittet hovedsakelig på de siste. Anbefalingene reflekterer dagens kunnskapsnivå og er basert på tidligere studier og eksempler fra hele verden, kombinert med generell bransjekunnskap og egne vurderinger av rimelighet. Fokuset i anbefalingene er på hva som har fungert og hva som ikke har fungert.

De to mest omfattende kunnskapsoppsummeringene som redegjør for ulike aspekter, inkludert tekniske aspekter innen agrivoltaikk, er følgende:

- SolarPower Europe - Agrisolar Best Practices Guidelines Version 1.0 (SolarPower Europe, 2021). Denne retningslinjen reflekterer erfaringene og perspektivene til en betydelig del av Europas agrivoltaiske sektor i dag.
- Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition: A guideline for Germany (Fraunhofer ISE, 2020). Formålet med denne veiledningen er å gi råd til lokale og internasjonale aktører om hvordan man kan utvikle agrivoltaiske systemer ved å bygge på tidligere erfaringer, som munner ut i en overordnet vurdering av «hva som fungerer» og «hva som ikke fungerer».

6.1 Valg av design og monteringsmetode for solcelleinstallasjonen

For eco- og agrivoltaiske systemer bør design, installasjon og drift av solcelleanlegget tilpasses stedets og prosjektets unike forutsetninger. Opplysninger om blant annet jordens egenskaper, klimaforhold, jordbruksvirksomhet, påvirkning på økosystemet og sikkerheten i området bør vurderes i planleggingsfasen (se avsnitt 3.1). En oppsummering av de viktigste parametrene å ta hensyn til ved design av eco- og agrivoltaiske systemer nevnes i tabell 6. Disse designhensynene har som mål å optimalisere strømproduksjon og avkastning samtidig som man tar hensyn til biologisk mangfold, sikkerhet og trygghet for dyr og mennesker i solcelleparken. Agrivoltaiske prosjekter har også som mål å optimalisere mengden lys som når solcellene og avlingene (SolarPower Europe, 2021).

TABELL 6: Sammenstilling av aspekter å ta hensyn til i beslutningsprosessen for teknisk utforming av solcelleparker

Element	Aspekter
Jord	Topografi
	Jordart
	Tilgjengelighet (veinett)
	Vanntilgang
Klima	Nettilkobling
	Solinnstråling
	Nedbør
	Temperatur
Jordbruks- virksomhet	Ekstreme værforhold
	Snø- og isdekke
	Typer av avlinger
	Vekstskifte
Påvirkning på økosystemet	Påvirkning på biologisk mangfold
	Jorderosjon
	Bruk av maskiner
	Vanneffektivitet
Sikkerhet i omgivelsene	Sikkerhet for mennesker (elsikkerhet, arbeidsforhold)
	Dyrevelferd ved dyrehold (elsikkerhet)
	Sikkerhet for ville dyr
Solcellesystem	Holdbarhet og elektrisk effektivitet kan påvirkes av støvspredning fra omkringliggende områder og bruk av gjødsel

6.1.1 Typiske løsninger for montering av solceller

Utformingen av agrivoltaiske systemer er mer komplisert enn for konvensjonelle bakkemonterte systemer. Fundamentene og monteringsystemene, moduldesignen og typen paneler bør være egnet for lys- og vannhåndtering, eventuelle landbruksmaskiner og plantenes behov. For eksempel bør konstruksjonen tilrettelegges slik at tilstrekkelig lys når plantene, samtidig som skygging optimaliseres for best mulig vekst. Formålet med skyggeoptimalisering kan være å begrense mengden solinnstråling, å sikre jevn fordeling av skygge over alle planter av samme slag, eller å redusere fordamping på varme og solrike dager. I tillegg kan solcellepaneler plassert over plantene brukes til å redusere nedkjøling om natten.

Noen av de vanligste monteringsalternativene er:

- Mellomroms agrivoltaiske systemer (engelsk: "interspace agrivoltaics" eller "increased space agrivoltaics" (Willockx m.fl., 2020)): Planter eller utvalgte vekster dyrkes i rommene mellom solcellefeltene. Solcellene monteres som regel i rad med paneler som er skråstilte (figur 37) eller vertikale (figur 38), men kan også plasseres på solfølgere. Ved vertikale solcellepaneler kan bruk av tosidige paneler øke systemets effektivitet.

- **Overliggende agrivoltaiske systemer** (engelsk: "overhead agrivoltaics" eller "stilted agrivoltaics" (Willockx m.fl. 2020)): Avlinger eller utvalgte vekster plantes under solcellepanelene (figur 39), og panelene monteres vanligvis på en forhøyet struktur.
- **Bevegelige systemer** (engelsk: "tracker systems"): Solcellepanelinstallasjonen kan være fast eller bevegelig. Ved fast montering installeres panelene i en fast hellingsvinkel (figur 38 og figur 39). Ved bevegelig montering kan hellingsvinkelen endres i én akse (énaksede solfølgere – figur 40) eller i to akser (toaksede solfølgere – figur 42).

Mellomroms agrivoltaiske systemer

Mellomroms agrivoltaiske systemer monteres vanligvis nærmere bakken, og det er mer vanlig når man har behov for store jordbruksmaskiner. Jordbruket skjer da mellom solcelleradene/feltene, noe som gir lavere paneltetthet enn i konvensjonelle solcellerparker og resulterer i redusert elproduksjon per arealenhet. Samtidig reduseres også det effektive dyrkingsarealet, siden panelene opptar en del av arealet. Solinnstrålingen og mengden overflatevann for plantene midt i mellomrommene påvirkes ikke nevneverdig. For



figur 38 Åpent agrivoltaisk system med fast hellingsvinkel. Kilde: ÖKO-HAUS GmbH



figur 39 Opphøyd agrivoltaisk system med fast hellingsvinkel. Bilde: MHM55 (CC BY-SA 4.0 licens)



figur 40 Opphøyd agrivoltaisk system med énaksede solfølgere, av Sun'Agri. Bilde: Sun'Agri



figur 41 Åpent agrivoltaisk system med vertikale, tosidige solpaneler i Kärrbo Prästgård, Sverige. Bilde: Mälardalens Universitet

dyrehold gjelder at når panelene ligger nærmere bakken, er risikoen for skader på dem fra husdyr større. På grunn av mindre og lavere struktur er både startkostnaden og den visuelle påvirkningen fra åpne systemer mindre (Willockx m.fl. 2020).

Overliggende agrivoltaiske systemer

Overliggende agrivoltaiske systemer brukes vanligvis til mindre mekaniserte gårder, slik som i fruktdyrking (Willockx m.fl., 2020), men også på åkrer hvor jordbruksmaskiner skal kunne kjøre under solcellene (Fraunhofer ISE, 2020). Avstanden mellom panelradene er vanligvis mindre enn i åpne systemer, slik at paneltettheten er høyere, men også dyrkningstettheten høyere. Ofte påvirkes solinnstråling og mengde overflatevann mer ved forhøyde systemer, som kan være en ulempe, men også en fordel dersom systemet brukes som værbeskyttelse (mot for eksempel sterkt sollys, regn eller nattefrost). På grunn av høyden når ikke husdyr panelene, og risikoen for skader er derfor lavere. De høye støttestrukturene gir samtidig større visuell påvirkning, og anleggene er dyrere, siden forhøyede systemer og økte vindlaster krever flere eller kraftigere fundamenter og forsterkninger (Willockx m.fl., 2020).

Bevegelige systemer

Bevegelige systemer kan optimalisere forholdene over tid, slik som i figur 40 hvor panelvinkelen i et énakset solfølgingsystem i en eplehage justeres for å optimalisere solinnstrålingen for trærnes fysiologiske behov. Et toaksede solfølgersystem vises i figur 42. Toaksede systemer gir kontinuerlig sesongbevegelse langs nord-sør- og øst-vest-aksene. Disse systemene er vanligvis dyrere på grunn av kompleksitet og ekstra komponenter, og er derfor lite brukt i agrivoltaiske systemer.

Her omtales énaksede og toaksede solfølgere fordi bevegelige systemer i konvensjonelle solcelleanlegg hovedsakelig brukes for å følge solen og øke energiproduksjonen. I agrivoltaiske systemer optimaliseres bevegelsene ofte etter flere faktorer, men vi bruker fortsatt de samme begrepene.

For ecovoltaiske systemer gjøres det vanligvis ikke like store tilpasninger av monteringsmetoden, men det kan være aktuelt med visse åpne løsninger for å skape bedre forhold for planter og/eller dyreliv. De ulike monteringsalternativene og flere tekniske aspekter for solcellesystemene omtales mer detaljert i avsnitt 6.2.

6.1.2 Sikkerhetsaspekter

Installasjon av solcellepaneler innebærer ulike helse- og sikkerhetsrisikoer, inkludert miljø- eller helsefarlige stoffer, elektriske støt, lysbuer, brannsikkerhet og elektromagnetisk stråling (EMC) (N.C. Clean Energy Technology Center, 2017), som også gjelder konvensjonelle solcelleanlegg. I tillegg gir agrivoltaiske og i noen tilfeller ecovoltaiske systemer ytterligere risiko og stiller ekstra krav til sikkerhet på grunn av hyppig opphold av mennesker og/eller dyr. Dette gjelder både elektrisk og mekanisk sikkerhet, som behandles mer i detalj i kommende avsnitt 6.2.



figur 42 Toaksede solfølgere. Bilde: Asuntracker

6.2 Designparametre og anbefalinger for utforming av agrivoltaiske eller ecovoltaiske systemer

Som tidligere nevnt bør en skreddersydd tilnærming brukes for design, installasjon og drift av solcellepaneler i et agrivoltaisk og/eller ecovoltaisk system. Sentral i denne tilpasningen er å skape et passende mikroklima for de plantene (ville eller dyrkede avlinger) som finnes i parken, noe som også påvirker forholdene for dyrelivet.

I dette avsnittet omtales lys- og vannhusholdning, som utgjør sentrale koblinger mellom solcelleinstallasjonen og mikroklimaet. Dessuten beskrives tekniske overveielser for å optimere balansen mellom vilkår for plantevekst og solenergiproduksjon. Videre tas også spørsmål om sikkerhet opp.

6.2.1 Mindre endring av mikroklimaet under modulene

Noen studier har vist at skyggelegging av bakken, vindbeskyttelse m.m. kan endre mikroklimaet under modulene og denne endringen avhenger av plasseringen og designen til systemet (Fraunhofer ISE, 2020). Endringene kan påvirke både avlingenes utbytte og kraftproduksjonen (på grunn av endret temperatur). I viss grad kan denne endringen og dens omfang estimeres med strålingssimulering og analyse av plassering i forhold til dominerende vindretning. Forskning pågår for å utvikle (bedre) modeller som simulerer stråling, luftstrømmer, temperatur m.m.

6.2.2 Lystilgang

Uansett om det planlegges agrivoltaiske eller ecovoltaiske systemer, bør designen ta utgangspunkt i hvilke (mulige) planter/avlinger som kan gi verdi på området. Hver plante har minimumskrav for hvor mye lys som trengs for god vekst (se tabell 4 i kapittel 5.1 for eksempler). Det kan også være behov for skygge på visse tider av døgnet eller året. For effektivt jordbruk kreves det også homogenitet i lysinnstrålingen, slik at veksten er jevn over dyrkingsflatene. Solcellemonteringen skal bidra til å skape slike forhold.

Tabell 7. Tabellen under viser de viktigste designparametrene for montering av solceller som påvirker lysmengde og homogenitet. Alle parametrenes effekt beskrives mer detaljert under respektive avsnitt

Design-parameter	Påvirker
System-høyde	Lysmengde under solcellefeltene (hovedsakelig diffust lys) Lysmengde mellom solcellefeltene Homogenitet
Størrelse på solcellefelt/-rader	Lysmengde under solcellefeltene Lysmengde mellom solcellefeltene Homogenitet
Avstand mellom solcellefelt/-rader	Lysmengde under solcellefeltene Lysmengde mellom solcellefeltene Homogenitet
Panel-retning og -azimuth	Lysmengde under solcellefeltene Lysmengde mellom solcellefeltene Homogenitet
Solcelle-teknologi (transparente paneler)	Lysmengde under solcellefeltene Lysmengde mellom solcellefeltene Homogenitet
Fast eller bevegelig montering	Lysmengde under solcellefeltene Lysmengde mellom solcellefeltene Homogenitet

En analyse av solinnstrålingsforholdene (eller en skyggeanalyse) på bakkenivå bør utføres for den planlagte solcellemonteringen. Deretter må det kontrolleres om disse forutsetningene er egnet, eller om monteringen bør tilpasses. Det trengs ofte en iterativ prosess. Eksempler på resultater fra skyggeanalyser finnes i Vedlegg 1, hvor analysene er gjort ved å lage en 3D-modell i programvaren Sketchup og deretter utføre "raytracing" med programvaren BIMsolar PVSITES. Andre programmer som kan være nyttige er Revit eller Rhino Grasshopper.

For å opprettholde markvegetasjon og jordas moldinnhold har nederlandske forskere utarbeidet en kvalifisering med minimumskrav for passende innstrålingsforhold, de kaller "sikre" forhold. Kvalifiseringen er (svært) foreløpig og baserer seg på lysinnstrålingsnivåer i perioden mars til oktober (uttrykt i forhold til uskygget markflate).

Ifølge kvalifiseringen har solcelleparker status som "sikre" hvis de oppfyller følgende kriterier:

- 1) Lysinnstrålingen på bakken under og mellom solcellepaneler er minst 10%
- 2) Minst 60% av samme markflate har lysinnstråling på 15% eller høyere
- 3) Minst 25% av samme markflate har belysningsnivåer på 40% eller høyere

Kriterium 1 anses av forfatterne som et minimumskrav for alle solcelleparker (Cesar m.fl., 2022), mens 2 og 3 anses som forutsetninger for deres planlagte sertifisering av parker. Disse kriteriene 1–3 kan være et godt utgangspunkt også for svenske ecovoltaiske solcelleparker, selv om mer forskning trengs for å verifisere dem.

For dyrkningsarealene i agrivoltaiske systemer stilles noe til svært høyere innstrålingskrav enn for markkvalitet over. Innstrålingsnivåer lavere enn ca. 15–20% vurderes som helt uegnede for dyrking, også for skyggetolerante vekster. Solkrevende avlinger vurderes å kreve minst mellom 60–95% av innstrålingen i Sør- Sverige, i alle fall i den frukt bærende sesongen. Se mer om vekster og deres lyskrav i avsnitt 5.1. For de arealene som ikke brukes til dyrking i agrivoltaiske systemer kan ovennevnte kriterier 1–3 brukes.

I Vedlegg 1 – Simulering av innstråling for typiske monteringsmetoder presenteres innstrålingsnivåer for bakken per sesong for forskjellige monteringsmetoder. Eksempelene kan brukes for å forstå betydningen av kriteriene ovenfor.

6.2.3 Vannhusholdning

I agrivoltaiske systemer bør mengden og fordelingen av overvann til avlingene være tilstrekkelig homogen for optimal plantevekst. Det finnes alltid et grunnbehov for vann for plantenes overlevelse. Vannbehovet og klimaforholdene på stedet bør vurderes, og et vanningsystem bør installeres dersom naturlig nedbør ikke er tilstrekkelig for avlingene. Regnvann kan samles opp via et regnvannsoppsamlingssystem installert under solpanelene (SolarPower Europe, 2021). Videre kan solpanelene beskytte plantene mot for høye temperaturer eller intens solinnstråling, noe som gir lavere fordampning på varme og solrike dager. Dette kan redusere behovet for ekstra vanning.

Hvordan vannhusholdningen skal utformes påvirkes av flere designparametere. Systemets høyde og panelenes helning påvirker hvor kraftig regnvannet treffer bakken. Størrelsen på solcellefeltene/-radene påvirker fordelingen og strømmen av regnvann, og dermed hvor mye regnvann som havner på et gitt sted på bakken.

6.2.4 Jorderosjon

Intensivt og langvarig regn kan føre til jorderosjon fordi vannet renner ned og samles under panelenes laveste punkt. Det finnes tiltak som kan redusere risikoen:

- Bruk systemer for oppsamling av regnvann til en vanningsdam, regnvannsfordeler, eller installer vanningsystem.
- Sørg for jevnere fordeling av regnvann fra panelene til vekstene, for eksempel med smalere paneler med mellomrom, eller endre modulens retning i bevegelige systemer.

6.2.5 Systemets høyde

Systemhøyden bør tilpasses planlagte tiltak for biologisk mangfold eller landbruksaktiviteter. Solpaneler i opphøyde agrivoltaiske systemer monteres internasjonalt vanligvis på 3–7 meter. Høyden skal tilpasses landbruksmaskinene (til såing, gjødsling, innhøsting osv.) og/eller gi naturlig plass til avlingenes vekst. For ecovoltaiske systemer gjelder liknende regler for høyde til vedlikeholdsmaskiner, alternativt beitedyr, samt plass for plantene.

Høyden på radmonterte (åpne) systemer påvirker først og fremst solinnstrålingen under panelene,

men også i mellomrommene (særlig nær panelene). Høyere system gir mer diffust lys under panelene, samtidig som skyggene kastes lenger inn i mellomrommene. Lysets homogenitet i overliggende systemer øker med større høyde i forhold til solcellefeltens størrelse, fordi skyggene sprer seg over større områder og jevnes ut både over tid og rom. Høyden har noe betydning for strålingsforholdene, men mellomrom mellom panelene, valg av bevegelig/fast system og teknologitype for panelene har større innflytelse.

Til slutt kan regnvann antas å nå lenger inn under høyere solcellepaneler enn under lave, men her har vindretningen også betydning.

6.2.6 Størrelse på solcellefelt/-rader

Dimensjonene til sammenhengende solcellefelt eller -rader bør tilpasses slik at mengden og homogeniteten for solinnstråling og vanntilførsel stemmer med de planlagte agrivoltaiske eller ecovoltaiske tiltakene.

Store sammenhengende rader/felt slipper gjennom mindre lys og regnvann til bakken og plantene under. Selv om områder under solcellefeltene ikke brukes aktivt (for eksempel i mellomromssystemer), bør det legges til rette for vegetasjon, slik at moldinnholdet i jorda opprettholdes og jorda kan tilbakeføres til

jordbruksformål uten flere års omstillingstid. Se kriteriene i avsnitt om lystilgang og Vedlegg 1 – Simulering av innstråling for typiske monteringsmetoder for mer konkret veiledning om passende lysnivåer.

Ved bruk av mellomrom mellom panelene i feltene kan regnvann slippe gjennom til en viss grad og gi jevnere fordeling av vann under panelene.

Resultater fra Schotman m.fl. (2021) viser at et mellomrom på 2 cm kan være avgjørende for å opprettholde vegetasjon og moldinnhold dersom panelene monteres liggende ("landscape"). Hvis panelene monteres høyt eller uten mellomrom, kan avrenning føre til jorderosjon. Da anbefales oppsamlings- og vanningsystemer.

Store sammenhengende felt kan også redusere fordampning fra bakken og plantene under. I slike tilfeller kreves imidlertid tiltak for rett tilgang på lys (som semitransparente paneler) og vann.

6.2.7 Avstand mellom solcellefeltene/-radene

Avstanden mellom solcellefeltene i agri- og ecovoltaiske systemer bør, på samme måte som systemhøyden, tilpasses maskinparken og plantenes behov for mengde og homogenitet på lys (og nedbør) for jevn plantevekst (Fraunhofer ISE, 2020). Dette gir vanligvis større radavstand enn i konvensjonelle solcelleparker, og dermed lavere samlet paneldekning.

I overliggende agri- og ecovoltaiske systemer kreves avstand bare for lys- og vannhusholdning. Om beskyttelse mot ekstrem nedbør eller redusert fordampning er ønskelig for dyrkede arter, kan (plexi)glass brukes i mellomrom mellom radene/feltene. Dette påvirker også hvilken vannhusholdning som er best.

Se kriteriene i avsnitt om lystilgang og Vedlegg 1 – Simulering av innstråling for typiske monteringsmetoder for konkret veiledning om lysnivåer.

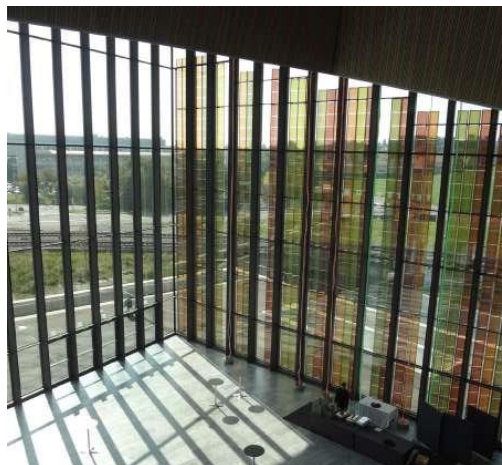
Bredden på konvensjonelle landbruksmaskiner er ca. 3–12 meter for jordbearbeidende maskiner og 12–36 meter for kjemisk plantevern. Avstanden mellom solcellefeltene må inkludere en margin på ca. 1–1,5 meter på hver side av dyrkingsområdet. Endelige mål bør avklares mellom parkbygger og bonde før sluttprosjektering.

6.2.8 Modulteknologi (inkludert transparens)

Gjennomsiktige solpaneler kan slippe gjennom (mer) sollys til bakken; mengden transparens bør imidlertid tilpasses kravene til avlingene i agrivoltaiske systemer.

Transparens kan oppnås på forskjellige måter:

- Fullt gjennomsiktige solcellepaneler for synlig lys – kan oppnås med enkelte tredjegerasjons solcelleteknologier (for eksempel organiske solceller) eller luminescerende konsentratorer. Disse produktene er som regel ikke kommersielt tilgjengelige eller befinner seg i tidlig utviklingsfase der særlig stabiliteten i virkningsgraden over levetiden er en utfordring. Fordi planter bruker synlig lys, er dette en potensiell interessant teknologi, slik som:
- Halvgjennomsiktige solcellepaneler finnes i tre varianter:
 - Ensartet gjennomsiktighet i alle farger (grått) – oppnås med tynnfilmssolceller (hovedsakelig CIGS og CdTe), hvor virkningsgraden reduseres lineært med økt transparens. Finnes som kommersielle produkter.



Figur 43: Halvgjennomsiktige Grätzel-solceller som slipper gjennom bestemte lysspektrere. Bilde: MHM55 (CC BY-SA 4.0)



Figur 45: Halvgjennomsiktige solcellemoduler med silisiumceller og økt mellomrom mellom cellene. Celler er typisk ca. 16×16 cm. Bilde: @solcellsarkitektur, Malin Unger



Figur 44: Solcellepanel med transparent bakgrunn og silisiumceller uten økt mellomrom. Bilde: @solcellsarkitektur, Malin Unger



Figur 46: Halvgjennomsiktige solcellemoduler med tynnfilmceller og mellomrom mellom cellene. Tynnfilmceller er mindre enn silisiumceller. Bilde: @solcellsarkitektur, Malin Unger

- Ensartet gjennomsiktighet i enkelte farger (for eksempel rød, grønn osv.) – kan oppnås med enkelte tredjegerasjons solcelleteknologier (som organiske solceller, perovskittsolceller, Grätzel-solceller). Finnes nesten ikke som kommersielle produkter. Dette kan være interessant på lang sikt siden planter er mest følsomme for visse avgrensede lysspektrum (se figur 43).
- Kombinasjon av transparente og ikke-transparente områder – kan oppnås med krystallinske silisiumsolceller hvor mellomrommet mellom cellene kan varieres for å gi forskjellige transparensgrader (se figur 44 og 45). Kan også oppnås med tynnfilmssolceller (se figur 46). Finnes som kommersielle produkter.
- Halvgjennomsiktige solcellefelt kan oppnås ved å kombinere konvensjonelle (ikke-transparente) paneler med glasspaneler. Dette kan være en rimeligere løsning enn å bruke halvgjennomsiktige moduler, men gir dårligere homogenitet.

Ulempen ved økt transparens er alltid lavere elektrisk utbytte. En interessant løsning for å øke elektrisk utbytte er å bruke tosidige (bifaciale) moduler (SolarPower Europe, 2021).

Per i dag er produktene på markedet sjelden optimalisert for agrivoltaiske systemer. Modulstørrelse, effektivitet, vekt og transparens er deler av den tekniske utfordringen. For eksempel, når panelene installeres på høye stolper, er det fordelaktig at solcellemodulene er relativt lette (SolarPower Europe, 2021).

6.2.9 Panelhelling og azimuthvinkel

Panelenes helling og azimuthvinkel (orientering) har stor betydning for solenergiproduksjon og lystilgang under og mellom solcellefeltene. I tillegg avgjør vinkel og azimuth, sammen med posisjon, om og når panelene fungerer som værbeskyttelse, for eksempel mot styrtregn, sterk solinnstråling midt på dagen, vind eller nattfrost. Dermed er monteringsvinklene viktige for plantenes muligheter til vekst og overlevelse.

I konvensjonelle, ensidige solcelleanlegg utformes hellings- og azimuthvinkel for å oppnå optimal balanse mellom plass og produksjon. Ved multifunksjonell bruk av solceller (agrivoltaisk eller ecovoltaisk) avhenger den optimale helling også av landbruksaktivitet, planteart og klima- og

vindforhold på stedet. Generelt kan man anta at vinkelen som gir maksimal solinnstråling også kaster de største skyggene på bakken, med noe variasjon mellom årstider.

Øst-vest-montering

Paneler trenger ikke å peke mot sør, de kan også rettes mot øst eller vest. Øst-vest-montering utføres vanligvis med lav hellingsvinkel (5–15 grader) for økt innstråling. For ensidige solcelleanlegg er hovedfordelen at skygge av paneler fra naborader nesten unngås, noe som gir høy paneltetthet per arealenheter. For multifunksjonelle systemer begrenses skygge mellom rader betraktelig ved øst-vest-montering, mens skygge under radene derimot er betydelig. Radavstander i multifunksjonelle systemer bestemmes sannsynligvis mer av maskinparken enn bare av skyggeleggingen, slik at fordelene av høy paneltetthet er mindre enn i konvensjonelle systemer. Unntaket kan være dersom en mørk atmosfære under panelradene er ønsket.

Vertikale panelrader tar minimalt med plass fra jordbruk eller tiltak for biologisk mangfold. Vertikale paneler monteres vanligvis øst-vest for å optimere solenergiproduksjon og redusere skyggeeffekter, men avhengig av hva som skal optimeres og lokale forhold kan andre retninger (azimuth) være noe mer fordelaktige (Campana m.fl., 2021). Tosidige (bifaciale) solcellemoduler brukes helst ved vertikal montering.

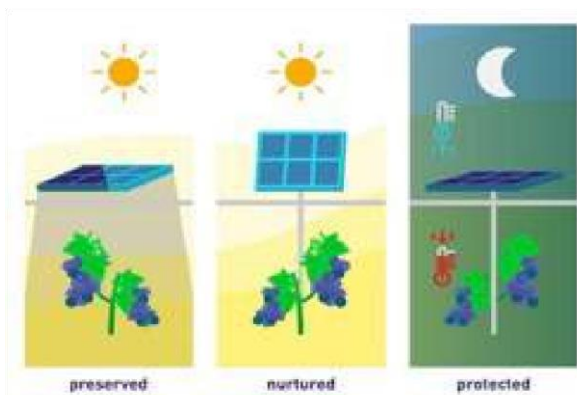


Figur 47: Optimaliseringsprinsipper for en enaksede solfølger. Av Sun'Agri. Bilde: Sun'Agri

Bevegelige systemer

Systemer med fast hellingsvinkel er billigere og mer utbredt globalt (figur 38, 39 og 41). Mulighet for å endre hellingsvinkelen gir bedre optimalisering av plantevekst. Hellingsvinkelen kan endres i én akse (enaksede solfølger-systemer – figur 40) eller to akser (toaksede solfølger-systemer – figur 42).

Bevegelige (solfølgende) systemer kan optimalisere lys/skygge og regn basert på plantenes behov i ulike utviklingsstadier og solinnstråling på forskjellige tidspunkt. De kan også gi beskyttelse under tøffe værforhold.



Den enaksede solfølger-modellen på figur 40 justerer panelenes helling for å tilpasse sollyset til plantens fysiologiske behov.

Solfølgerens styringsalgoritme prioriterer jordbruket foran maksimalt solcelleutbytte. Algoritmen bruker data fra installerte sensorer for å ta hensyn til plantens vekstmønster, kortsiktige værvarsler, fuktighet, temperatur, vekstsensorer og bondens mål. Panelene kan også beskytte trærne under dårlige værforhold.



Figur 48: Markfundament

6.2.10 Markfundament

I likhet med konvensjonelle solcellessystemer må panelene i agrivoltaiske eller ecovoltaiske systemer støttes av egnede fundamenter eller forankringer for å være stabile. Den negative påvirkning på bakken som forankringen kan medføre, bør imidlertid minimeres for å opprettholde jordkvaliteten og dyrkbart markareal. For eksempel bør pålestøtter, jordskruer eller spesielle forankringer med lange stag i bakken (som Spinnankerankere (figur 48) eller TreeSystem) velges fremfor betongfundamenter. Det førstnevnte forankringsmetoden kan fjernes uten å etterlate noen større spor (Fraunhofer ISE, 2020). En annen løsning kan være et bevegelig og mobilt solcellesystem med enkel monterings- og demoneringsfunksjon.

6.2.11 Elsikkerhet

Elsikkerheten skal være god for mennesker og dyr som beveger seg i parken. Planlegging og prosjektering skal derfor ta hensyn til hvor mennesker, dyr og maskiner forventes å bevege seg, og hvilke dyrearter som finnes, både for deres sikkerhet og mulig påvirkning på installasjonen. Akkurat som for konvensjonelle solcellesystemer skal elinstallasjonsregler og tilhørende kontroller følges. Også forskriftene i Brannvernforeningens regelverk

"Elinstallasjoner i landbruk og hestebbruk" (Brannvernforeningen, 2019), for eksempel angående gnagersikring, skal følges.

Følgende seksjoner tar opp noen vanlige aspekter som bør vurderes for å sikre driften av det elektriske systemet og forhindre sikkerhetsproblemer.

Plassering og valg av elektrisk installasjon og tilbehør

Ved behov kan hele parken deles inn i soner for dyrking, service, rekreasjon (hvis besøkende skal bevege seg i parken) med mer (se også avsnitt om skjøtselsplan 3.1.7). Jo tydeligere sonedelingen er, og jo mindre sonene overlapper eller griper inn i hverandre, desto enklere blir det for aktivitetene å sameksistere og desto enklere er det å opprettholde elsikkerheten. Sonedelingen kan foregå bare horisontalt (forskjellige markflater), men kan også være vertikalt (forskjellige høyder under eller over bakken). I tillegg til sonedelingen anbefales også følgende:

- Bygg inn eller plasser elektriske komponenter som strengvekselrettere, koblingsbokser eller kontakter slik at de er utilgjengelige for uvedkommende.
- Plasser utstyr som trenger regelmessig tilsyn eller service, som vekselrettere, sikringer og brytere, overspenningsvern,

- nettstasjoner med mer innen lett tilgjengelige service-soner.
- Bruk riktig IP-klasse på elektrisk utstyr, ikke bare som beskyttelse mot vann, men også mot for eksempel støv eller insekter som leter etter bolig.
- Utstyr i støvete miljøer, for eksempel ved dyrking av avlinger som støver ved høsting (som korn med mer), skal ha minst IP-klasse 5X.
- Solcellemoduler som brukes i agrivoltaiske systemer der det kan forekomme forhøyede nivåer av ammoniakk (fra dyregjødsel eller mineralgjødsel) skal være godkjent av en tredjepart i henhold til IEC 62716 for å motstå korrosjon fra ammoniakk.
- For miljøer med salttåke skal solcellemodulene oppfylle kravene i henhold til IEC 61701 (relevant nivå).
- Vær ekstra tydelig med varselflagg og prøv også på andre måter å markere grensen mellom ulike soner.

Kabelføring

For å forebygge mekaniske skader på kabler som forårsakes av landbruksmaskiner, anbefales det å legge kabler:

- I henhold til svensk standard SS 424 14 37 med følgende tillegg for når landbruksmaskiner eller lignende skal brukes over kablene: bruk en fyllingsdybde på minst én meter, og bruk kabelbeskyttelse, helst av annet materiale enn plast.
- Langs monteringsstrukturen og under modulene, og minimere kabling i bakken. Dette reduserer også eksponering for sol, vann og snø, og øker systemets levetid.
- Slik at forekommende dyr ikke kan nå dem (tilpass plassering og høyde eller kanalisering av kabler). Mus og rotter regnes som tilstede i alle agrivoltaiske og ecovoltaiske anlegg, så gnagersikring kreves.

6.2.12 Mekanisk sikkerhet

Flere mekaniske risikoer forekommer i agri-/ecovoltaiske solparker. Solpaneler og monteringsystemer, særlig i overliggende systemer, kan falle på grunn av sterk vind eller konstruksjonsfeil. Installasjonsstrukturen bør derfor dimensjoneres for å tåle ekstreme værforhold som snø, sterke vinder eller hagl.

Det finnes risiko for å skli, snuble eller falle ved eller rundt ulike komponenter, inkludert elektriske komponenter.

Der hvor dyr og/eller mennesker trenger å bevege seg nær monteringsrammer og solcellepaneler, skal skarpe kanter og utstikkende deler i hodehøyde unngås, dekkes til eller merkes tydelig. Her hjelper sonedeling av parken, som beskrevet i kapitlet om elsikkerhet.

Landbruksmaskiner eller andre maskiner for skjøtsel kan påvirke mekanisk sikkerhet. Det kan være nyttig å montere skjermrør eller annet vern rundt stolpene til monteringssystemene for å begrense konsekvenser av lettere kollisjoner (SolarPower Europe, 2021).

En risikovurdering skal utføres, og kontinuerlig vedlikehold og skjøtsel som rengjøring, løvfjerning og regelmessig inspeksjon av agrivoltaiske systemer og omgivelser skal gjennomføres.



7. AVSLUTNING OG OPPFORDRINGER TIL SOLCELLEBRANSJEN

Store, bakkemonterte solcelleparker har potensial til å bli en viktig del av omstillingen til fossilfri energiforsyning i Sverige. Både planlagte og eksisterende anlegg øker raskt i antall og størrelse. Uten bevisst planlegging kan dette få negative konsekvenser for både biologisk mangfold og matsikkerhet i Sverige. Denne håndboken har som mål å, basert på dagens tilgjengelige kunnskap, skape forståelse for hvordan solcelleparker kan påvirke naturverdier og jordbruksarealer negativt, men ikke minst hvordan dette kan løses gjennom grundig forarbeid, nøye planlegging og innovasjon. Ideelt sett kan solcelleparker bidra til en positiv utvikling ikke bare for klima og Sveriges energiforsyning, men også for biologisk mangfold og matsikkerhet.

Dette krever nyskapning og modige aktører i solcellebransjen, samt godt samarbeid mellom dem og grunneiere, bønder og allmennheten. Med henvisning til den akutte situasjonen for biologisk mangfold i Sverige – og globalt – bør målet til solcelleentreprenører og grunneiere være Biodiversity Net Gain i alle prosjekter. For å oppnå Biodiversity Net Gain kreves det at dette ivaretas gjennom hele planleggings- og gjennomføringsprosessen, kunnskap og dokumentasjon om områdets naturverdier og en vurdering av solcelleparkens negative og positive påvirkning på biologisk mangfold og økosystemtjenester.

Det finnes mye etablert kunnskap om hvilke strukturer og tiltak som fremmer biologisk mangfold. Likevel ser vi behov for ytterligere utredninger og forskning på hvordan forutsetninger for biologisk mangfold, som artsrike enger, best kan ivaretas i solcelleparker. I tillegg mangler det et nasjonalt rammeverk for å jobbe mot målet Biodiversity Net Gain i Sverige. Vi oppfordrer solenergibransjen til å følge og delta i utviklingen av et slikt rammeverk, og til å samarbeide om å bygge mer kunnskap om biologisk mangfold i solcelleparker.

Innholdet og prosessbeskrivelsene i denne håndboken bygger på tilgjengelig kunnskap per i dag og forfatterne samlete kompetanse. Forfatterne håper å kunne følge og bidra til

konkrete ecovoltaiske og agrivoltaiske prosjekter hvor håndboken brukes og på sikt lage oppdaterte versjoner av håndboken.

For å øke kunnskap og forståelse om hvordan agrivoltaiske systemer kan fungere i Sverige – hvilke avlinger som egner seg, hvordan slike systemer kan driftes, og om det finnes muligheter for for eksempel statlige støtteordninger for å fremme utviklingen – vil vi understreke at det, i tillegg til nysgjerrige og modige pionerer, trengs flere utredninger, mer forskning og større forsøk. Gjennom å bygge opp og dele erfaringer og kunnskap øker potensialet for at solenergi kan bidra til både nasjonal energi- og matsikkerhet, samtidig som bønder får en mer forutsigbar og stabil inntektskilde gjennom differensiering.

Uansett om du som solcelleentreprenør eller grunneier velger å arbeide med ecovoltaiske systemer, agrivoltaiske systemer eller en kombinasjon av begge, bør løsningene baseres på lokale forhold og utvikles i samarbeid med økologer og/eller agronomer/jordbrukere. Med denne håndboken som grunnlag håper vi som har skrevet den at et slikt arbeid skal føles enklere og morsommere, slik at vi vil se flere ecovoltaiske og agrivoltaiske parker i Sverige fremover.



REFERANSER

- Agostini, A., Colauzzi, M., & Amaducci, S. (2021). Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment. *Applied Energy*, 281, 116102. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116102>
- Akitsu, T. K., Nasahara, K. N., Ijima, O., Hirose, Y., Ide, R., Takagi, K., & Kume, A. (2022). The variability and seasonality in the ratio of photosynthetically active radiation to solar radiation: A simple empirical model of the ratio. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 108, 102724. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102724>
- Björkman, N. (2000). Biologisk alvluckring: effekter av rödklöver och luserna på markstruktur. Institutionen för markvetenskap, examensarbete, SLU.
- Björnsson, L. H., Morell, K., van Noord, M., & Pettersson, I. (2022). En kartläggning av solcellsparker i Sverige 2021.
- Brandskyddsföreningen. 2019. Elinstallationer i lantbruk och hästverksamhet. ISBN: 978 91 7144 515 5
- BRE. (2014). Agricultural good practice guidance for solar farms. Ed. J. Scurlock. [https://www.bre.co.uk/filelibrary/nsc/documents%20library/nsc%20publications/nsc_guid_agricultural-good-practicefor-sfs_0914.pdf]
- Campana, P. E., Stridh, B., Amaducci, S., & Colauzzi, M. (2021). Optimisation of vertically mounted agrivoltaic systems. *Journal of Cleaner Production*, 325. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.12909>
- Cesar, K., van Aken, B., Scholten, L., de Goede, R., & Alex Schotman, A. 2022. Nieuwe ontwerpotoets verankert bodemkwaliteit in zonneparken, Bodem, vol. 2022, no. 2, pp. 34–36.
- Convention on Biological Diversity. 2022. Article 2. Use of terms. <https://www.cbd.int/convention/articles/?a=cbd-02> (Hämtat 220210)
- Dye, D. G. (2004). Spectral composition and quantat-energy ratio of diffuse photosynthetically active radiation under diverse cloud conditions. *Journal of Geophysical Research*, 109(D10), D10203. <https://doi.org/10.1029/2003JD004251>
- Ekelöf, J., Råberg, T., & Albertsson, J. (2010). Djupluckring höjer skörden. LTJ-fakultetens faktablad, 2010:36, SLU
- European Commission Joint Research Centre. 2020. JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission [WWW Document]. URL https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP (Hämtat nov-dec 2021).
- Forest trends (2022). “No net loss” and “Net Gain” of biodiversity. <https://www.forest-trends.org/bbop/bbop-key-concepts/no-net-loss-and-net-gain-ofbiodiversity/>
- Fraunhofer ISE (2020). Agrivoltaics: opportunities for agriculture and the energy transition - A guideline for Germany. Report
- Friberg, L. & Haldén, P. (2016). Öka skörden – gynna honungsbin och vilda pollinerare. Jordbruksinformation 14 – 2016. Jordbruksverket
- Håkansson, I. (2000). Packning av åkermark vid maskindrift. Rapport från Jordbruksavdelningen, Nr 99, SLU.
- IUCN (2022). Business and biodiversity net gain. <https://www.iucn.org/theme/business-and-biodiversity/our-work/business-approaches-and-tools/business-and-biodiversity-net-gain>
- Joint Research Centre (European Commission). (2022). Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - Typical Meteorological Year. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#TMY
- Jordbruksverket. (2021). Hur stor andel av livsmedlen som säljs på marknaden är producerade i Sverige? På tal om jordbruk och fiske – fördjupning om aktuella frågor. [<https://jordbruksverket.se/download/18.3f5783ca17a0d6fa37e4b8af/1623843705032/Pa-tal-omjordbruk-och-fiske-juni-2021.pdf>]
- Lagache, J. (2019). Naturligtvis!: biologisk mångfald i din trädgård. [Stockholm]: Bonnier fakta.
- Lindahl, J., Lingfors, D., Elmqvist, Å., & Mignon, I. (2022). Economic analysis of the early market of centralized photovoltaic parks in Sweden. *Renewable Energy*, 185, 1192–1208. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.12.081>
- Lindström, S.A.M. & Smith, H.G. 2022. Konkurrens mellan honungsbin och vilda bin – evidens,

- kunskapsluckor och möjliga åtgärder. CEC Rapport Nr 6. Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet.
- Länsstyrelsen Skåne. 2018. Att satsa stort för att gynna det lilla. Restaurering och skötsel av sandmark i södra Sverige. Rapport 2018:10.
- Länsstyrelsen Västra Götaland. 2018. Slåtterängen. Så här gör du för att återskapa vår artrikaste miljö. <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.1dfa69ad1630328ad7c7ec58/1612446923661/aterskapaslatterangen.pdf> (Hämtat 220210)
- Miljøministeriet. 2021. Insektvenlig naturpleje. <https://mst.dk/natur-vand/natur/national-naturbeskyttelse/naturpleje/naturplejeportalen/pleje-af-arter/insektvenlig-naturpleje/> (Hämtat 211118)
- Mälardalens universitet. 2020. Utvärdering av det första agrivoltiska systemet i Sverige <https://www.mdh.se/forskning/forskningsprojekt/framtidens-energi/utvardering-av-det-forsta-agrivoltiska-systemet-isverige> (Hämtat 211208)
- N.C. Clean Energy Technology Center. 2017. Health and safety impacts of solar photovoltaics.
- Pimm, S. L., Jenkins, C. N., Abell, R., Brooks, T. M., Gittleman, J. L., Joppa, L. N., ... & Sexton, J. O. (2014). The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science*, 344(6187), 1246752.
- Rölin, Å. 2015. Växtföljd. Ekologisk grönsaksodling på friland. Jordbruksverket
- 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. <https://doi.org/10.18174/541057>.
- SIS. (2022). Naturvärdesinventering avseende biologisk mångfald. https://www.sis.se/globalassets/standardutveckling/tksidor/tk-555/informationsbladss-199000_ny-logga-.pdf. Hämtat 220404
- Skogsberg, K., Olofsson, A., Persson, I., Cuellar, F., Sigfridsson, K & Stenmark, H. 2022. Solcellsparker – Guide för markägare i norra Sverige som vill undersöka förutsättningarna för en solcellspark på sin mark.
- SLU (2022). Ljusföroreningar – ett underskattat miljöproblem. <https://www.slu.se/forskning/kunskapsbank/miljoanalys/ljusfororeningar/>
- SolarPower Europe. 2021. Agrisolar Best Practices Guidelines Version 1.0.
- Statistiska Centralbyrån. (2019). Markanvändningen i Sverige, sjunde utgåvan https://www.scb.se/contentassets/ea00bda68634c1dbdec1bb4f6705557/mi0803_2015a01_br_mi03br1901.pdf
- Sun'Agri. (2021). Technology. Sun'Agri. <https://sunagri.fr/en/our-solution/technology/>
- Sveriges geologiska undersökning. (2020). Jordarter 1:25 000-1:100 000. <https://www.sgu.se/produkter/kartor/kartvisaren/jordkartvisare/jordarter-125-000-1100-000/>. Hämtad: 2022-05-18 Willockx, B., Uytterhaegen, B., Ronsijn, B., Herteleer, B., Cappelle, J. 2020. A Standardized Classification and Performance Indicators of Agrivoltaic Systems. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; 1995-1998 4 pages, 1889 kb. <https://doi.org/10.4229/EUPVSEC20202020-6CV.2.47>
- Zambrano-Prado, P., Muñoz-Liesa, J., Josa, A., Rieradevall, J., Alamús, R., Gasso-Domingo, S., & Gabarrell, X. (2021). Assessment of the food-water-energy nexus suitability of rooftops. A methodological remote sensing approach in an urban Mediterranean area. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103287.
- Yang, P., Dong, W., Heinen, M., Qin, W., & Oenema, O. (2022). Soil Compaction Prevention, Amelioration and Alleviation Measures Are Effective in Mechanized and Smallholder Agriculture: A Meta-Analysis. *Land*, 11(5), 645.
- Zambrano-Prado, P., Muñoz-Liesa, J., Josa, A., Rieradevall, J., Alamús, R., Gasso-Domingo, S., & Gabarrell, X. (2021). Assessment of the food-water-energy nexus suitability of rooftops. A methodological remote sensing approach in an urban Mediterranean area. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103287. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103287>
- Öckinger, E., Eriksson, A. K., & Smith, H. G. 2006. Effects of grassland abandonment, restoration and management on butterflies and vascular plants. *Biological Conservation*, 133(3), 291–300. <https://doi.org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.biocon.2006.06.009>

Östberg Rundquist, M. (2020). Framtidens protein med drömlarver på tallriken. [Åkersberga]: KvalitetsCentrum AB.

Toledo, C., & Scognamiglio, A. (2021). Agrivoltaic systems design and assessment: A critical review, and a descriptive model towards a sustainable landscape vision (three-dimensional agrivoltaic

patterns). *Sustainability*, 13(12), 6871. <https://doi.org/10.3390/su13126871>

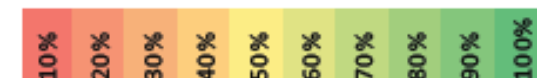
VEDLEGG 1 – SIMULERINGER AV INNSTRÅLING FOR TYPISKE MONTERINGSMETODER

Monteringsmetoden kan påvirke hvor stor del av innstrålingen som når bakken. I dette avsnittet beskrives effekten av noen typiske monteringsmetoder. Disse eksemplene er følgende:

- Solcellemontering A – Radmontert sør
- Solcellemontering B – Radmontert sør med økt mellomrom
- Solcellemontering C – Forhøyet sør
- Solcellemontering D – Forhøyet sør med økt mellomrom
- Solcellemontering E – Radmontert øst/vest
- Solcellemontering F – Vertikalt stående øst/vest

Resultatene som presenteres i dette avsnittet gjelder situasjonen i midtsonen på et større solcelleanlegg, hvor randeffektene er ubetydelige. Solinnstrålingen nærmere kantene på solcelleradene er (noe) høyere enn i midtsonen. Eksemplene er simulert med programvaren BIMsolar PVSITES for et anlegg i Jönköping, med innstrålingsdata for et typisk meteorologisk år for perioden 2005–2020 (Joint Research Centre, 2022). Ved å angi innstrålingen i prosent av innstrålingen på helt uskygget mark anses resultatene å være relevante for hele Sør-Sverige.

Solcelletettheter og produksjonstall oppgis per kvadratmeter jordareal for solcellepaneler med virkningsgrad på 20,1%.



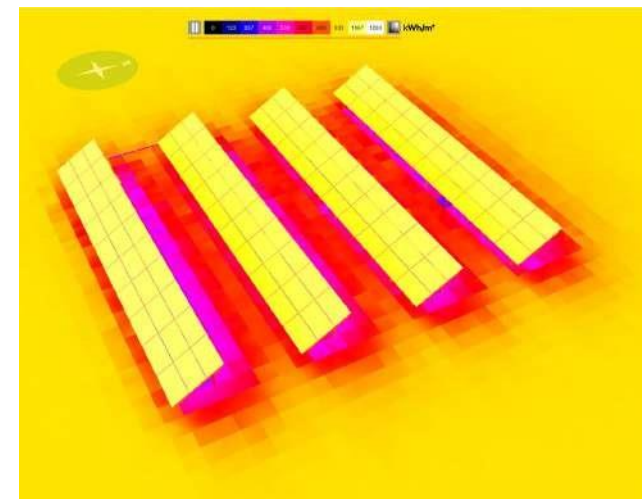
Fargeskalaen viser hvor stor del av innstrålingen som når jordoverflaten i prosent.

Solcellemontering A - Radmontert sør

Den typiske måten å montere solcellepaneler i svenske solcelleparker på er i sørlig orienterte rader som lener seg ca. 30 grader, plassert omtrent 1 meter over bakken. Eksempel A illustrerer denne monteringsmetoden med rader som er ca. 3 (3,2) meter brede og med et mellomrom (avstand mellom radene) på cirka 4 meter. Som vist i tverrsnittbildet nedenfor reduseres solinnstrålingen på bakken med 70-75% midt under radene.

Mellom radene varierer gjennomsnittlig innstråling (per løpemeter) ganske mye, mellom 50-90% om sommeren og mellom 40-75% om våren og høsten. Denne variasjonen skaper varierende forhold som kan fremme et mangfoldig planteliv, samtidig som det blir (for) mye variasjon og (for) smale områder for storskala dyrking.

I snitt installeres med denne monteringsmetoden 98 Wp/m² markareal. Denne effekten gir en typisk årsproduksjon på 76 kWh/m²/år.



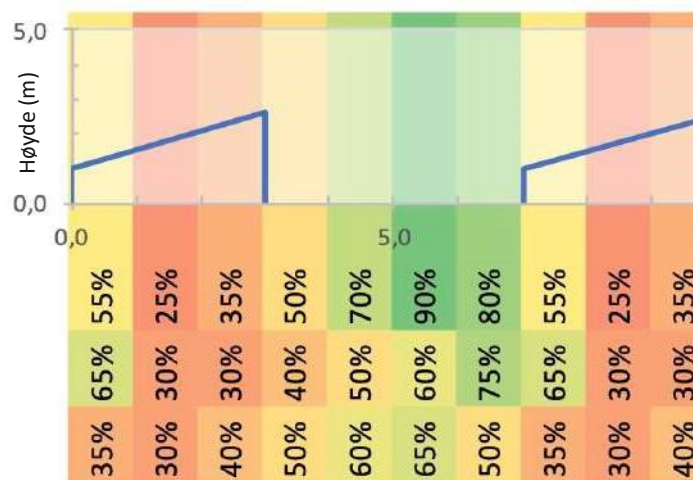
Summering av innstråling (kWh/m²) for monteringsmetode A i perioden mars til og med oktober for Jönköping.

Solcellemontering A

Midlere solinnstråling sommer

Midlere solinnstråling vår/høst

Midlere solinnstråling vinter



Tverrsnittsbilde av den typiske relative solinnstrålingen på bakken i ulike sesonger, per løpemeter, ved solcellemontering A.

Solcellemontering B – Radmontert sør med økt mellomrom

For å skape større områder med jevnere og høyere innstrålingsnivåer kan avstanden mellom radene økes. Variasjonene i innstrålingsnivåer rundt solcelleradene består fortsatt.

Tverrsnittbildet under viser gjennomsnittlig innstråling for solcellerader med 12 meter mellomrom. Sammenlignet med solcellemontering A er også radene bredere (fra 3,2 til 8,5 meter), og for å redusere radens høyde er helningen justert til 20 grader.

På denne måten installeres 83 Wp/m² markareal og det oppnås en solkraftproduksjon på 70 kWh/m².

Selv om panelene er montert fra 2 meters høyde og oppover, kommer det kun svært lite sollys ned til bakken rett under radene (ned til 15–20%), noe som skyldes den store bredden. Den høye radhøyden (4,9 meter) i kombinasjon med radbredde og laveste radhøyde er avgjørende parametere for innstrålingen mellom radene. Skyggeeffekten avtar med avstanden bak raden: om sommeren oppnås innstråling $\geq 90\%$ etter omtrent 5 meter og om vår/høst $\geq 80\%$ etter 7 meter. Skygging foran radene er i praksis uvesentlig, ettersom dyrkingsbed bør ha en sikkerhetsavstand til solcelleradene.

Bruk av smalere rader (med samme laveste og høyeste høyde) forventes å gi mer sollys midt under radene, men ha liten effekt på innstrålingsprofilen mellom radene.

Summering av innstråling (kWh/m²) for monteringsmetode B for perioden mars til og med oktober for Jönköping.

Andre måter å øke innstrålingen under radene og også i mellomrommet rett bak radene er å bruke (semi-)transparente moduler, se avsnitt 6.2.8.

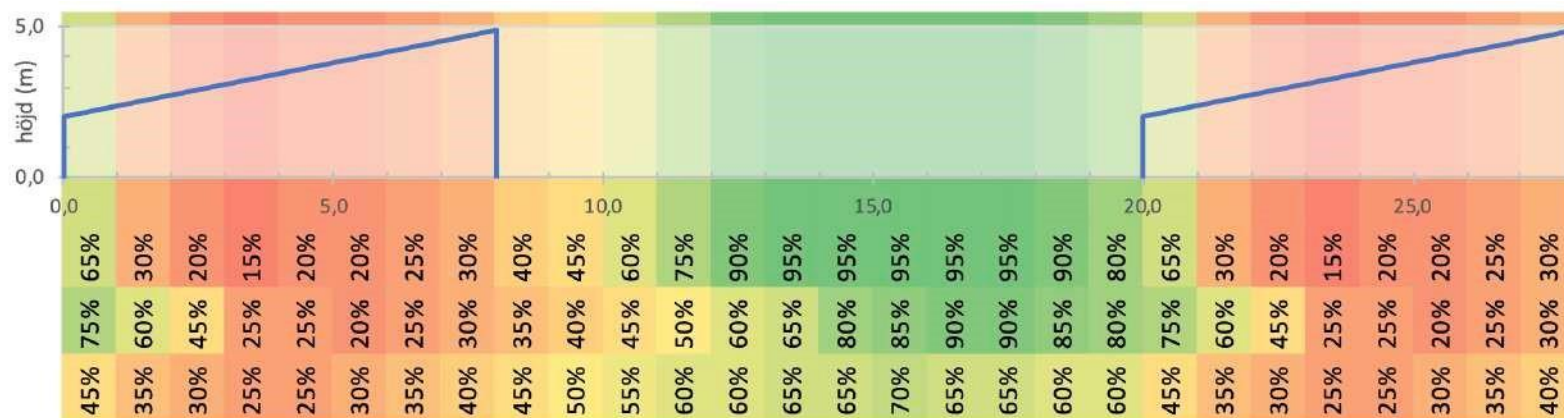
Også bevegelige solcellerader (enakset solfølger) kan brukes for å bedre forholdene for planter mellom og under radene. Det forutsetter en programmering som tar hensyn til plantenes behov. Se mer om dynamiske systemer i avsnitt 6.2.9.

Solcellemontering B

Midlere solinnstråling sommer

Midlere solinnstråling vår/høst

Midlere solinnstråling vinter



Tverrsnittsbilde av den typiske relative solinnstrålingen på bakken i ulike sesonger, per løpemeter, ved solcellemontering B.

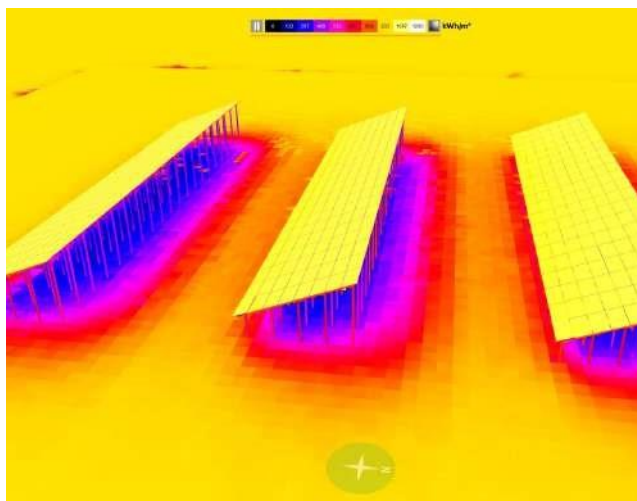
Fordelingen av regnvann til bakken under solcelleradene påvirkes, i hvert fall om modulene er montert med lite mellomrom, da mye av vannet da renner ned til bunnen av raden. Ifølge (Schotman m.fl., 2021) kan et mellomrom på 1 cm mellom panelene og montering i liggende orientering (såkalt "landscape") gi tilstrekkelig regnvannsfordeling til at planter kan vokse under radene. I hvilken grad det er nok for spesifikke planter og avlinger er ikke undersøkt.

Solcellemontering C – Forhøyet sør

Ved å løfte opp solcelleradene på stylder høyere over bakken kan landbruksmaskiner eller dyr bevege seg mye friere over området. Avstanden mellom stolpene kan velges relativt fritt etter maskinparken. Med større avstand trengs færre stolper og fundament, men samtidig kreves en sterkere konstruksjon med hovedsakelig

kraftigere profiler som bærer opp solcellepanelene, så det kan lønne seg å vurdere kostnadene for ulike alternativer i en forstudie.

Denne monteringsmetoden har blitt brukt internasjonalt i piloter for agrivoltaisk systemer, men er i 2022 uvanlig, om ikke helt fraværende i Sverige. Som regel er solcelleradene smale (enkeltmoduler) i forhold til stylte høyden, noe som bidrar til at innstrålingen på bakken er ganske jevnt fordelt. I dette eksemplet, med 1



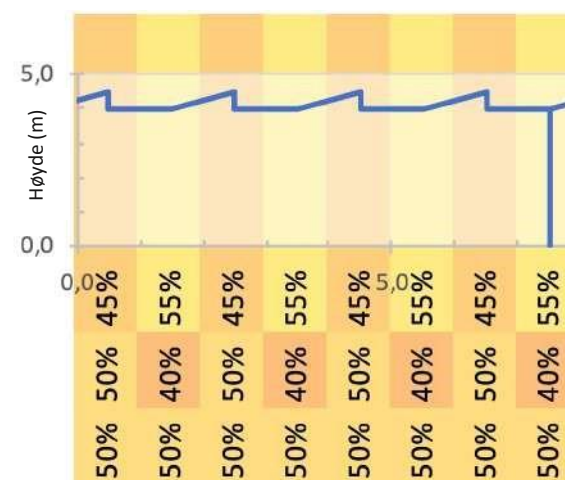
Summert innstråling (kWh/m^2) for monteringsmetode B i perioden mars til oktober for Jönköping.

Solcellemontering C

Midlere solinnstråling sommer

Midlere solinnstråling vår/høst

Midlere solinnstråling vinter



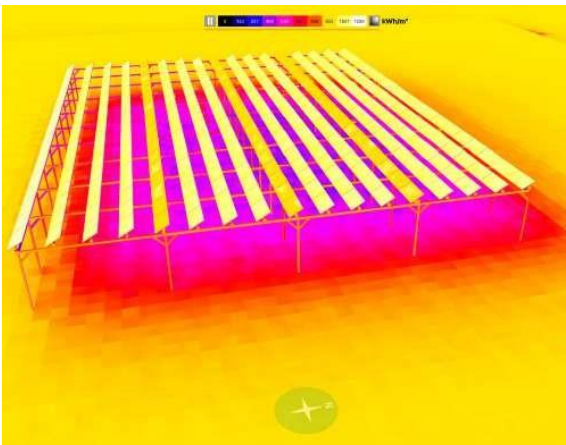
Tverrsnittsbilde av den typiske relative solinnstrålingen på bakken i ulike sesonger, per løpemeter, ved solcellemontering C.

meter brede rader som luter 30 grader og 1,5 meter radavstand, oppnås innstrålingsnivåer som ligger rundt 50% hele året.

Effekten på fordeling av regnvann forventes å være liten så lenge solcelleradene er smale.

Summert innstråling (kWh/m²) for monteringsmetode C i perioden mars til og med oktober for Jönköping.

Med hensyn til solstyrke oppnås en tetthet på 104 Wp/m² jordareal, med en årsproduksjon på 89 kWh/m²/år.



Summert innstråling (kWh/m²) for monteringsmetode C i perioden mars til oktober for Jönköping.

Solcellemontering D – Forhøyet sør med økt mellomrom

Ved å bruke bare annenhver solcellerad fra forrige monteringsmetode oppnås situasjonen i Eksempel D, og innstrålingen økes til 60–80%. Per jordareal installeres med denne metoden 52 Wp/m², noe som gir 45 kWh/m² per år, sammenlignet med Eksempel C (enkelt radavstand) som gir 104 Wp/m² og 89 kWh/m²/år. Innstrålingen under solcellefeltet kan også økes ved å bruke (semi-)transparente moduler (se avsnitt 6.2.8) eller bevegelige solcellerader (enaksede solfølgere; se avsnitt 6.2.9).

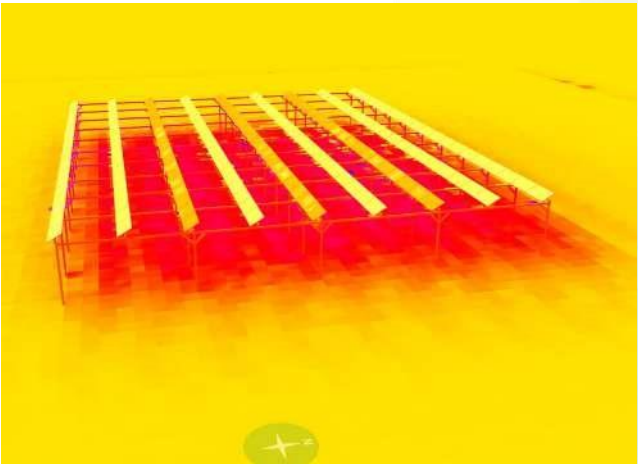
Solcellemontering D

Midlere solinnstråling sommer

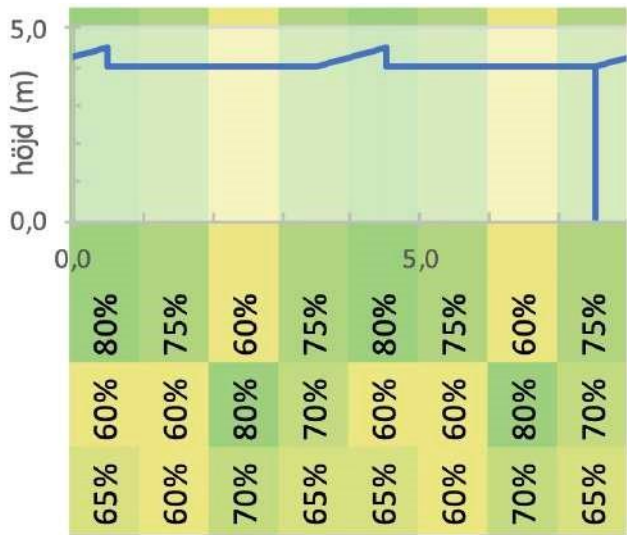
Midlere solinnstråling vår/høst

Midlere solinnstrålingvinter

Tverrsnittsbilde av den typiske relative solinnstrålingen på bakken i ulike sesonger, per løpemeter, ved solcellemontering D.



Summert innstråling (kWh/m²) for monteringsmetode D i perioden mars til oktober for Jönköping.



Solcellemontering E – Radmontert øst/vest

Noen ganger monteres solcellepaneler i rader som går nord–sør, med retning mot øst og vest. Radene danner en saltak-lignende konstruksjon. Grunnprinsippet med denne monteringsmetoden er at man kan oppnå høy installert effekt per kvadratmeter mark. Strømproduksjonen per installert kW er litt lavere enn for sørvendte rader, men produksjonen blir jevnere fordelt gjennom døgnet og effektoppen lavere. Eksempel E bruker samme konfigurasjon på radene som monteringsmetode A for hver side (øst

og vest). I toppene står radene tett inntil hverandre (5 cm), og i dalene brukes en radavstand på 3 meter. Effekttettheten for eksempelet blir 155 Wp/m² areal og strømproduksjonen 113 kWh/m²/år, mot 98 Wp/m² og 75 kWh/m²/år for solcellemontering.

Simuleringen av solinnstråling viser tydelig at radene ikke skygger særlig mye i mellomrommene. Allerede ved tre meter mellomrom har solinnstrålingen midt i mellomrommet kommet opp i 75%, og i kantene varierer den fra 55–60%. Ved mellomrom på 2 meter reduseres innstrålingen med opptil 10%. Med større mellomrom vil innstrålingen

øke ytterligere slik at store deler av området bør kunne brukes til dyrking.

Den store ulempen med øst/vest-montering er at bakken under radene nesten ikke mottar noe lys. Allerede den første meteren fra kanten har et gjennomsnitt på 25% innstråling (alle årstider), og lenger inn så lavt som 10% eller 15% for vår/sommer/høst og vinter. Radene kan også hindre mye av nedbøren fra å nå bakken under. Risikoen er at ingen planter overlever under radene. Da kan ikke jorda bidra til biologisk mangfold eller matproduksjon. Dessuten vil jorda endres slik at den fra å være et karbonlager blir en karbonkilde (utslipp av klimagasser), samt tørkes ut. Det kan deretter ta over et tiår før jorda igjen kan brukes til jordbruk.

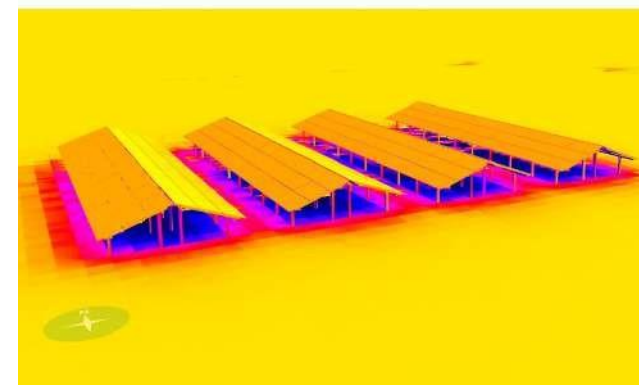
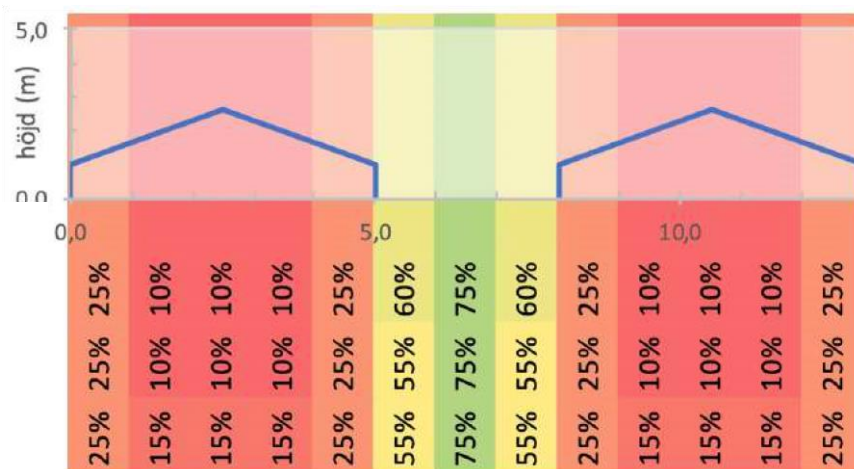
Solcellemontering E

Midlere solinnstråling sommer

Midlere solinnstråling vår/høst

Midlere solinnstrålingvinter

Tverrsnittsbilde av den typiske relative solinnstrålingen på bakken i ulike sesonger, per løpemeter, ved solcellemontering E.



Summert innstråling (kWh/m²) for monteringsmetode E i perioden mars til oktober for Jönköping.

Tiltak for å forbedre lysforholdene under panelene er å redusere radbredden og øke den laveste høyden på panelene, ved å heve hele konstruksjonen eller minske panelhelningen (som også øker den årlige strømproduksjonen). Et større gap i toppene, samt mellomrom mellom paneler, kan også hjelpe. Det finnes også alternativer med (semi-)transparente paneler (se 6.2.8), eller å utelate paneler på enkelte steder.

Solcellemontering F – Vertikalt stående øst/vest

De smaleste øst/vest-monterte radene er helt vertikale solcellepaneler. I stedet for å bruke moduler på hver side, kan tosidige (bifacial) paneler benyttes, som også utnytter sollys som treffer baksiden (dog noe mindre effektivt). Eksempel F illustrerer en slik installasjon med en total høyde på 3 meter, hvorav de øverste 2 meter består av solcellepaneler.

Solinnstrålingen som når bakken er høy (80% eller mer) og relativt jevnt fordelt. Ettersom det i denne

simuleringen ikke vokser noe under panelene og disse dermed slipper gjennom lys, er det bakken cirka 1,5 meter bortenfor radene som mottar minst solinnstråling. Samtidig er simuleringen gjort for helt ugjennomsiktige paneler, mens mange tosidige paneler også kan være semitransparente slik at noe lys slipper gjennom mellom cellene.

Å øke høyden på radene med ytterligere 1 meter med solcellepaneler reduserer innstrålingsnivåene med bare omtrent 5% sammenlignet med tallene i diagrammet under.

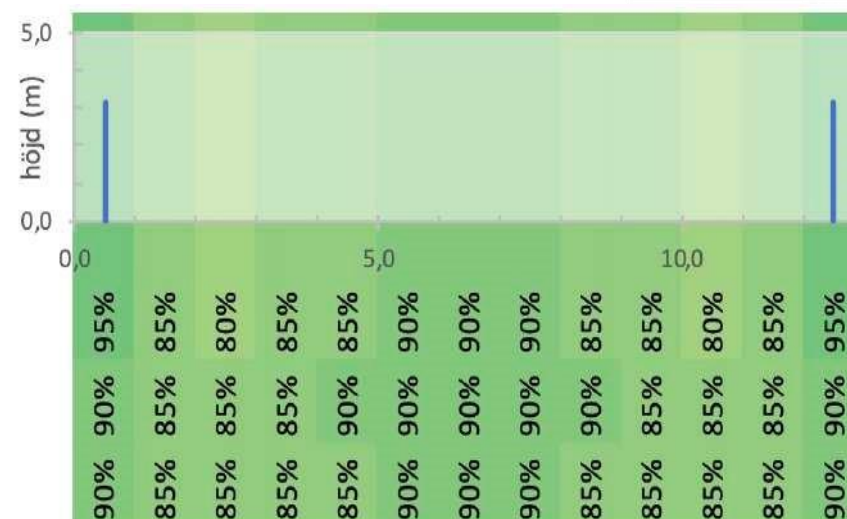
Denne monteringsmetoden har så godt som ingen innvirkning på regnvannsfordelingen.

Solcellemontering F

Midlere solinnstråling sommer

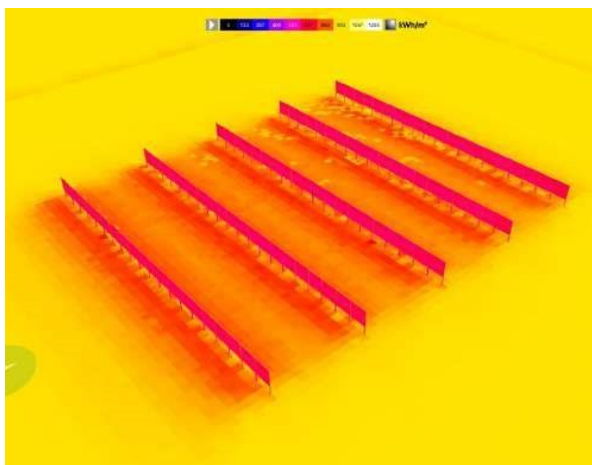
Midlere solinnstråling vår/høst

Midlere solinnstrålingvinter



Tverrsnittbilde av den typiske relative solinnstrålingen på bakken i ulike sesonger, per løpemeter, ved solcellemontering F.

Effektmessig har eksempel F en installert effekt på 33 Wp/m^2 markareal (bare forsiden av tosidige moduler regnet med) noe som gir $33 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$ ved en bifacialitet på 80% (baksidens effekt i forhold til forsiden). Forsiden bør da vende mot øst, noe som gir høyere samlet strømproduksjon enn omvendt (omtrent $31 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$). Oppsummert innstråling (kWh/m^2) for monteringsmetode F i perioden mars til oktober for Jönköping.



Summert innstråling (kWh/m^2) for monteringsmetode F i perioden mars til oktober for Jönköping.



**RI.
SE**

