

Solsambruk i Norrbotten

- En förstudie om möjligheter och utmaningar

Mattias Lindh, Jonas Ljunggren, Benjamin Donovan, Andreas Johansson

Finansiärer:

Region Norrbotten (Ärende ID: Nyps 20373228)
Längmanska Företagarfonden (Referensnummer: LF 2025-012)
Piteå kommun (Diarienummer: 25KS230)

Kontaktperson:

Mattias Lindh, mattias.lindh@ri.se, mobil: 073-031 86 97

Not. Hushållningssällskapet Norrbotten-Västerbotten har deltagit i förstudien och bidragit med värdefullt förarbete till denna rapport, främst genom Jan Nilsson. Han har dock inte författat eller kunnat granska innehållet i rapporten och står därför inte listad som författare.

Adresser:

RISE Research Institutes of Sweden, Storgatan 65, 903 30 Umeå

IVL Svenska Miljöinstitutet, Stationsgatan 12, 931 31 Skellefteå

Hushållningssällskapet Norrbotten-Västerbotten, Öjebyn Agro Park, Patrons Allé 10, 943 31 Öjebyn

Energikontor Norr, Smedjegatan 16, 972 33 Luleå

Kvalitetsgranskare:

Kjell Skogsberg (IVL Svenska Miljöinstitutet)
Michiel van Noord (RISE Research Institutes of Sweden)
Erik Häggbom (Hushållningssällskapet Norrbotten-Västerbotten)

RISE Rapportnummer: 2026:63
ISBN: 978-91-90109-92-2

Sammanfattning

Markbaserade solparker blir allt vanligare i Sverige och förväntas ha viktig roll i samband med att elektrifieringen av Norrbottens industrier realiseras. Här uppstår en intressekonflikt mellan regional livsmedelsproduktion och förnyelsebar elproduktion. Samtidigt kämpar lantbruken som står för den regionala livsmedelsförsörjningen med sin lönsamhet och många behöver diversifiera sina intäkter för att gå runt. Solsambruk, där samma mark nyttjas både för odling och solelproduktion är en möjlighet att möta dessa utmaningar, men kunskapen om hur det fungerar i ett nordligt klimat är kraftigt begränsad. Både odling och solelproduktion är var för sig på marginalen i den här regionen och dessutom konkurrerar de om samma resurs – solljuset. Kunskap om hur solsambruk långt upp i norr bör utformas och implementeras saknas i stort sett. I denna förstudierapport presenterar vi förutsättningarna och utmaningar för solsambruk i Norrbotten med inriktning mot Öjebyn Agro Park i Piteå som en möjlig lokalisering för en testanläggning.

För kommande forskningsprojekt om solsambruk i Norrbotten föreslår vi en testanläggning med sju vertikala nord-sydliga rader med dubbelsidiga solcellspaneler riktade mot öster och väster. Radavståndet blir 13 meter vilket möjliggör effektivt arbete med de flesta relevanta jordbruksmaskinerna. På de sex mellanliggande fälten odlas en sexårig växtföljd bestående av de fem grödorna vete, rybs, potatis, korn, och vall. Solsambruksanläggningen kompletteras med ett intilliggande identiskt odlingsreferensområde utan solcellsanläggningen, och längre bort en optimerad solelproduktionsanläggning som utgör energireferens. Den totala ytan som tas i anspråk för testen blir drygt en hektar och utifrån förenklade ekonomiska kalkyler kan man räkna med ett positivt nettonuvärde. Jämförande studier mellan solsambruksanläggningen och referensområdena kommer möjliggöra realistiska och avgörande kunskaps- och dataunderlag för mer precisa ekonomiska lönsamhetsbedömningar av solsambrukssystemen. Dessa är i sin tur kritiska för att tekniken tryggt ska kunna implementeras och stärka lantbruk och regional livsmedelsförsörjning i ett framtida Övre Norrland. Till de jämförande studierna av skördarnas omfattning och kvalitet och elproduktionen bör man koppla hållbarhetsstudier för både sociala frågor (till exempel social acceptans, rättvis omställning och samhällsresiliens) och miljörelaterade sådana (biodiversitet, livscykelanalys och en utvärdering av lämpliga områden i Övre Norrland med hjälp av GIS-verktyg)).

En dedikerad forskningsanläggning för solsambruk på Öjebyn Agro Park skulle oss veterligen bli världens nordligaste. Den skulle bli ett nav för framtida forskningsprojekt som genererar ny kunskap och lokalt värdeskapande genom innovationer. I ett senare skede blir anläggningen en viktig demonstrator som kan nyttjas för kompetensutveckling och inspiration till ett innovativt lantbruk som spelar en viktig roll i ett robust och levande samhälle där produktion av mat och energi är centralt.

Abstract (in English)

Ground-mounted photovoltaic parks are becoming increasingly common in Sweden and are expected to play an important role as the electrification of industries in Norrbotten is realized. This gives rise to a conflict of interest between regional food production and renewable electricity generation. At the same time, farms responsible for the regional food supply are struggling with profitability, and many need to diversify their income streams to remain viable. Agrivoltaics, where the same land is used both for cultivation and photovoltaic electricity production, is a potential way to address these challenges. However, knowledge is limited on how it works in a northern climate. Both agriculture and solar energy production are already marginal on their own and, in addition, they compete for the same resource – sunlight. Knowledge about how to design and implement agrivoltaics in high latitude locations are generally lacking. In this pre study report, we present the conditions and challenges for agrivoltaics in Norrbotten, with a focus on Öjebyn Agro Park in Piteå as a potential location for a test facility.

For a future research project on agrivoltaics in Norrbotten, we propose a test facility with seven vertical north-south directed rows of bifacial photovoltaic panels that are oriented east-west. The row spacing will be 13 meters, enabling efficient operation with most relevant agricultural machinery. In the six interspatial fields, a six-year crop rotation will be cultivated, consisting of the five crops wheat, field mustard, potatoes, barley, and ley. The agrivoltaic installation will be complemented by an adjacent, identical cultivation reference area without the photovoltaic installation, and, further away, an optimized photovoltaic power plant serving as an energy reference. The total area required for the test will be just over one hectare, and based on simplified economic calculations, a positive net present value can be expected. Comparative studies between the agrivoltaic system and the reference areas will enable realistic and decisive knowledge and data for more precise economic profitability assessments of agrivoltaic systems. These are, in turn, critical for ensuring that the technology can be safely implemented and for strengthening agriculture and regional food supply in northern Sweden in the future. In addition to comparative studies of crop yield, quality, and electricity production, sustainability assessments should be included, covering both social aspects (such as social acceptance, a just transition, and societal resilience) and environmental aspects (including biodiversity, life cycle assessments and evaluation of suitable areas in Upper Norrland using geographical information system tools).

A dedicated research facility for agrivoltaics at Öjebyn Agro Park would, to our knowledge, become the northernmost in the world. It would serve as a hub for future research projects that generate new knowledge and local value creation through innovation. At a later stage, the facility would become an important demonstrator for skills development and inspiration, fostering an innovative agricultural sector that plays a key role in a resilient and vibrant community where sustainable production of food and energy are central.

Innehåll

Sammanfattning	1
Abstract (in English)	2
1 Om förstudieprojektet och rapporten	4
1.1 Förord.....	4
1.2 Syfte och mål och genomförande.....	4
2 Förutsättningar för solsambbruk i Norrbotten	5
2.1 Lantbruksinriktningar i Norrbotten.....	5
2.2 Solsambbruk och hur olika anläggningar kan utformas	7
2.3 Solsambbruksanläggningar och nordliga förhållanden	7
2.3.1 Önskelista för nordligt solsambbruk	8
2.3.2 Solsambbruksanläggningar och forskningsprojekt i Sverige	8
2.3.3 Lärdomar och utbyte med andra aktörer inom nordligt solsambbruk	9
2.3.4 Samspelsfaktorer i ett nordligt solsambbruk	12
2.3.5 Miljömässig hållbarhet	14
2.3.6 Social hållbarhet	16
3 Solsambbruk på Öjebyn Agro Park	21
3.1 Förutsättningar för testområdet.....	21
3.2 Föreslagen forsknings- och demonstrationsanläggning.....	25
3.2.1 Solsambbruksanläggningen	25
3.2.2 Föreslagen växtföljd och val av grödor	28
3.2.3 Referensyta för odling.....	29
3.2.4 Referensanläggning för solelproduktion	30
3.2.5 Förenklad ekonomisk bedömning	30
3.3 Föreslagna studier och uppföljning	36
3.3.1 Solelproduktion.....	36
3.3.2 Odlingsproduktion.....	37
3.3.3 Mikroklimat, instrålning och miljödata.....	37
3.3.4 Ekonomisk utvärdering och bärkraftighet	38
3.3.5 Miljömässig hållbarhet	39
3.3.6 Social hållbarhet	41
4 Övrig diskussion	44
4.1 Insikter genom samtal	44
4.2 Tillstånd och anslutning.....	45
4.3 Jordbruksstöd	46
Referenser och litteraturhänvisningar	47

1 Om förstudieprojektet och rapporten

1.1 Förord

Under våren 2024 träffades representanter från Energikontor Norr och RISE på en lokal hamburgerrestaurang i Piteå för att diskutera möjligheter för gemensamma satsningar framåt. Vi hade identifierat en accelererande utveckling av markbaserade solkraftsparkar och frågor om markanspråk och intressekonflikter hade börjat blomma ut i debatten. Mot bakgrund av den snabba utvecklingen och ett stort intresse för solsambbruk/agrivoltaics längre söderut, bestämde vi oss för att utveckla förutsättningar för en forsknings- och demonstrationsanläggning för just solsambbruk i nordliga förhållanden. Efter att kompletterande kompetenser från Hushållningssällskapet Norrbotten-Västerbotten och IVL Svenska Miljöinstitutet anslutit sig till gruppen beslöt vi att jobba utifrån en projektstruktur i tre på varandra följande steg med

1. en förstudie (i vilken denna rapport är framtagen)
2. ett forskningsprojekt med demonstrationsanläggning på Öjebyn Agro Park
3. ett implementeringsprojekt i övre Norrland.

Förstudien har pågått mellan september 2025 och juni 2026 och i skrivande stund pågår arbetet med att möjliggöra steg nummer två genom att säkra finansiering och lösa ut olika tekniska, sociala och juridiska frågor.

1.2 Syfte och mål och genomförande

Förstudiens syfte är att skapa förutsättningar för ett framgångsrikt forskningsprojekt om solsambbruk i nordliga förhållanden. Forskningsprojektet är i sin tur tänkt att skapa kunskap om vilka anpassningar som krävs av både solkrafts- och odlingsdelen i ett solsambbruk. I ett tredje steg är tanken att kunskapen ska omsättas i ett implementeringsprojekt för att systemen ska kunna skapa värde och nytta genom synergieffekter och inte riskera att bli en belastning eller ett bekymmer för de lantbrukare som väljer att implementera tekniken.

Förstudien har finansierats av Region Norrbotten, Längmanska Företagarfonden, Piteå Kommun och de deltagande parterna själva. En stor del av genomförandet har bestått i att mötas och diskutera frågor ur olika perspektiv, vilket har varit nödvändigt då solsambbruk till sin natur är ett koncept i skärningspunkten mellan ett flertal olika näringar och intressen. I projektgruppen har vi utifrån våra respektive expertiser samlat och beskrivit information som sedan legat till grund för diskussionerna. Detta har i huvudsak handlat om lantbruksinriktningar i Norrbotten (Hushållningssällskapet Norrbotten-Västerbotten), hur solsambbrukssystem typiskt är utformade (RISE), vilka sociala och miljömässiga hållbarhetsaspekter som är viktiga att förhålla sig till (IVL Svenska Miljöinstitutet), hur de ekonomiska förutsättningarna kan komma att se ut (Energikontor Norr), och hur dessa saker kan anpassas för att solsambbruk ska fungera i norrländska förhållanden i allmänhet, och på Öjebyn Agro Park i synnerhet (alla deltagande parter).

I denna rapport sammanställs de delar av bakgrundsmaterial och information som vi bedömer kan vara av publikt intresse. Delar av förstudiearbetet som exempelvis sammansättning av parter för en projektgrupp, möjlig offentlig och privat finansiering, förankring bland intressenter samt forskningssamarbeten för ett framtida forskningsprojekt kan anses vara känsliga uppgifter och utelämnas eller beskrivs endast summariskt.

2 Förutsättningar för solsambbruk i Norrbotten

Solsambbruk, eller agrivoltaics som det också kallas, innebär att jordbruk och solelproduktion samnyttjar en gemensam yta. Detta koncept skulle kunna utgöra ett attraktivt alternativ för att öka den lokala produktionen av förnybar el i Norrbotten samtidigt som man behåller försörjningstryggheten med produktion av livsmedel från befintlig jordbruksmark. I ett nordligt klimat där odlingen i viss mån sker på marginalen kan man förvänta sig att grödorna påverkas väsentligt av de ändrade lokala förhållanden som blir av en solcellsanläggning. Den kan medföra positiva saker som vindskydd och minskad avdunstning, men skulle också kunna leda till negativa konsekvenser som ljusstress, förändrad hydrologi, ändrade marktemperaturer och kortare odlingssäsong. Även solelproduktionen kan komma att påverkas genom annorlunda albedo och jordbruksaktiviteter. Detta är saker som behöver undersökas enligt vad som beskrivs senare i denna förstudierapport.

En viktig fördel med solsambbruk är möjligheten att generera flera intäcksströmmar från samma markyta. Förutom försäljning av el kan marken fortsatt användas för exempelvis bete, vallodling eller andra grödor. Detta minskar risken jämfört med markanvändning som är beroende av antingen jordbruksproduktion eller elproduktion. Intäcksdiversifieringen där ytterligare intäkter till lantbruket kommer från solelproduktionen skulle kunna stärka verksamhetens långsiktiga ekonomiska motståndskraft mot variationer i elpriser, väderförhållanden och jordbruksmarknader.

Odlingsförutsättningarna, solelproduktionen och den ekonomiska lönsamheten för lantbrukare och samhälle behöver också sättas i viktiga hållbarhetsperspektiv. Det inkluderar sociala aspekter samt natur, miljö och klimat; samtliga av avgörande betydelse för hur det kommer vara att leva i vårt framtida Norrbotten.

2.1 Lantbruksinriktningar i Norrbotten

Lantbruksaktiviteterna i Norrbotten kan delas upp i olika områden då det är stora skillnader inom länet. 71 % av den brukade åkermarken i Norrbotten (22 422 ha) sker i den så kallade "fyrkanten" vilken utgörs av kommunerna Luleå, Piteå, Boden och Älvsbyn. I övriga Norrbotten brukas 8 983 ha åkermark. I hela Norrbotten dominerar vall kraftigt men på platserna två till tio i listan över de vanligaste grödorna finns vissa skillnader, se Tabell 1 (Jordbruksverket, 2026).

En intressant observation är att träda är den tredje respektive näst vanligaste "grödan" i området, där träda både kan vara en del i en växtföljd, men också vara mark som inte brukas aktivt. Inom kategorin vall ingår även ett antal hektar som endast putsas, vilket innebär att ingen skörd tas utan att grödan enbart slås av. Trädgårdsväxter är vanligare i de delar av Norrbotten som är utanför fyrkanten, där odlingar av främst vinbär och jordgubbar förekommer. Dessutom finns det förvånansvärt stora arealer med frövall, det vill säga odling där gräs- och/eller klöverfrö skördas.

Tabell 1. Odlad areal åkermark för olika grödor i Fyrkanten (Luleå, Piteå, Boden och Älvsbyn) och i övriga Norrbotten. Data från Jordbruksverkets statistik 2025.

Fyrkanten		Övriga Norrbotten	
Gröda	hektar	Gröda	hektar
Vall	16 355	Vall	7136
Vårkorn	2 149	Träda	503
Träda	1 813	Grönfoder	427
Grönfoder	969	Vårkorn	270
Havre	384	Matpotatis	102
Matpotatis	142	Andra växtslag	79
Frövall	64	Trädgårdsväxter	56
Vårrybs	58	Energiskog	13
Andra växtslag	51	Frövall	13
Trädgårdsväxter	49	Blandsäd	8
Total	22 422	Totalt	8 983

Det finns också en stor mängd lantbruk med mjölkkor i Norrbotten, och sambrukande av betesmark för mjölkkor och solkraft är möjligt. I denna förstudie tittar vi dock uteslutande på sambruk mellan odling och solelproduktion.

Hur de nuvarande lantbruksinriktningarna ser ut och vad som odlas i vilken utsträckning är relevant för hur man i ett senare skede utformar en demonstrations- och forskningsanläggning för solsambbruk. Ur ett lantbruksperspektiv finns flera olika anledningar att tänka efter noga innan man implementerar något solsambbrukssystem i lantbruket. Man vill inte försämra möjligheterna att nyttja marken, men detta ska ses ur ett realistiskt snarare än ur ett idealistiskt perspektiv; ett lantbruk med god ekonomi och stark kärnverksamhet har bra möjligheter och incitament att fortsätta med dessa aktiviteter, medan dålig ekonomi, splittrat fokus på många olika mindre sysslor (vilket är vanligt idag för att få verksamheten att gå runt) kan leda till att man lägger ner (IEA, 2025). Om ett solsambbruk kan leda till en mer hållbar situation skulle det i vissa fall kunna ses som positivt även om exempelvis skörden skulle minska något. I idealfallet kan man utforma system som ger upphov till mer lokal och regional mat åt medborgarna, möjliggör foderproduktion för djurbesättningar, har en skörd som går att lagra över en längre tid och eventuellt även kan nyttjas för andra ändamål som drivmedel, gödsel och liknande. Dessa saker är tillsammans med ekonomi och bemanning grundläggande för en stark beredskap och resiliens i det norrbottniska lantbruket.

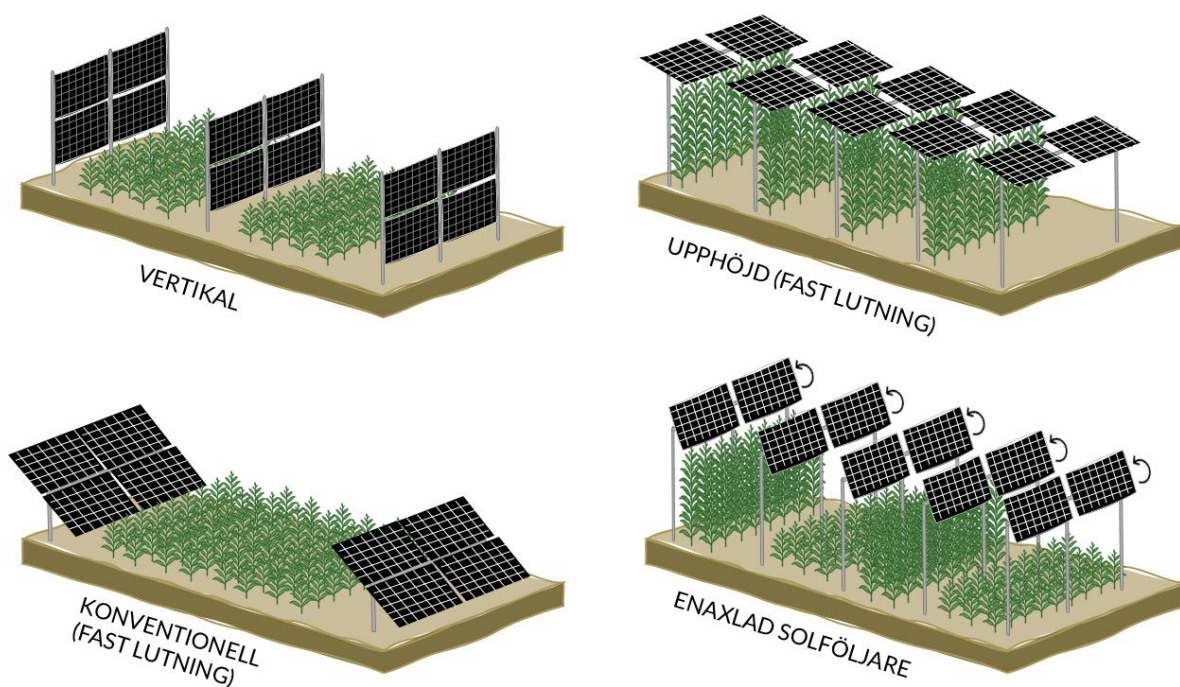
Jordbruk sker ofta men inte alltid med en växtföljd. Det innebär att man succesivt ändrar vilken gröda som växer på ett skifte. En hypotetisk fyraårig växtföljd med tre grödor skulle till exempel kunna se ut enligt Tabell 2. Skiftena som en växtföljd roteras på är i verkligheten (särskilt i norra Sverige) sällan lika stora, är inte rektangulära eller regelbundet formade och de ligger dessutom ofta inte i direkt anslutning till varandra utan har en sämre arrondering. Detta behöver man ta hänsyn till när man planerar för en solsambbruksanläggning; marken behöver kunna brukas effektivt.

Tabell 2. Exempel på fyraårig växtföljd med tre grödor.

	Skifte 1	Skifte 2	Skifte 3	Skifte 4
År 1	Potatis	Potatis	Vete	Korn
År 2	Potatis	Vete	Korn	Potatis
År 3	Vete	Korn	Potatis	Potatis
År 4	Korn	Potatis	Potatis	Vete

2.2 Solsambruk och hur olika anläggningar kan utformas

Det finns ett mycket stort antal vetenskapliga artiklar om solsambruk (en sökning på "agrivoltaics" på Google Scholar genererar i skrivande stund 10 800 träffar) och forskningsaktiviteten inom ämnet är fortfarande mycket hög. För att skaffa sig en bild av vilka olika möjligheter som finns kan man med fördel läsa någon av de översiktsrapporter som finns, till exempel rapporter från IEA (2025) eller branschorganisationen Solar Power Europe (2024). Solsambrukssystem är generellt anpassade utifrån de lokala klimatologiska förhållanden som råder och den gröda eller växtföljd som man vill odla. Det finns en mängd exempel, från vindruvor, via fruktträd, olika sädesslag, vall och potatis till högvärdiga grönsaker, bär och svamp. I Figur 1 visas exempel på vanliga utformningar för solsambruk, inklusive en för Sverige konventionell montering med fast lutning. Det finns system som är upphöjda (overhead agrivoltaics) så att man fritt kan bruka jorden under med maskiner eller få plats med fruktträd, system med vertikala paneler eller solföljande fält som kan justeras så att man kan komma in med jordbruksmaskiner mellan raderna (interspace agrivoltaics) och annat. Även solcellspaneler på eller i kombination med växthus kan i vissa fall räknas som solsambruk. Vissa gör en mycket strikt tolkning av att det måste finnas synergieffekter mellan solelproduktionen och jordbruket som gör att odlingen gynnas (ett förändrat lokalt mikroklimat), och att om inte detta uppfylls är det "bara" samlokaliserad produktion, inte ett "äkta" solsambrukssystem.



Figur 1. Figurer som visar förenklade skisser över fyra olika sorters solsammanslagningar som förekommer på olika platser. Överst till vänster, rader med vertikala dubbelsidiga paneler. Över till höger en upphöjd anläggning med fasta paneler. Nederst till vänster en konventionell anläggning där stora delar av marken inte kan nyttjas för odling. Nederst till höger en upphöjd anläggning med solföljarsystem.

2.3 Solsammanslagningar och nordliga förhållanden

Praxis och erfarenhet saknas i mycket stor utsträckning när det kommer till solsammansbruk i nordliga förhållanden motsvarande Norrbotten och det finns inte mycket litteratur att tillgå. Det finns forskningsinitiativ i Alaska och i Norge på motsvarande breddgrader men de har oss veterligen inte några dedikerade forsknings- och demonstrationsanläggningar som försöken utförs på. I stället har försöken utförts i liten skala, med begränsad anpassning av en

konventionell solpark, eller utgörs av de allra första trevande stegen. Däremot har solkraft på både byggnader och mark generellt utvecklats snabbt på nordliga breddgrader under de senaste åren, både i Sverige och internationellt, och här finns en del erfarenhet att dra nytta av. Även om teknik och material för installationer i Norrbotten i stort är desamma som i södra Sverige eller Centraleuropa så skiljer sig förhållanden för soletproduktion markant. I Norrbotten kan man förvänta sig stora instrålningsvariationer på både säsongsbasis och under enskilda dagar. Under midvintern är dagarna mycket korta och elproduktionen i det närmaste obefintlig, medan en solcellsanläggning med en anpassad utformning kan generera elektricitet i princip dygnet runt under sommarens längsta och ljusaste dagar. Snöskuggningsförluster och självskuggning av en lägre solbana kan i vissa fall försena elproduktionsstarten och reducera den totala elproduktionen över den tekniska livslängden med följder på hållbarhet och koldioxidavtryck som följd. En genomgång av förutsättningarna för nordlig solet återfinns till exempel i Handbok för Nordlig Solet (Lindh m. fl. 2020) och en nytgiven rapport från Internationella Energimyndigheten (IEA, 2026). I den senare framgår det tydligt att man avråder från solföljande system i miljöer med mycket låga temperaturer, snö och is eftersom dessa erfarenhetsmässigt har visat sig leda till ett stort och dyrt underhållsbehov. Solföljande system har annars stor potential att nå mycket högt specifikt energiutbyte i sammanhang där man kan dra stor nytta av att följa solen, men allteftersom dubbelsidiga paneler har blivit vanligare och priserna på solcellspaneler blivit lägre har betydelsen av att få ut så mycket som möjligt från varje panel minskat i förhållande till andra kostnader. Man konstaterar också att potentialen för vertikala dubbelsidiga solcellspaneler i öst/väst-riktning är stor, men i dessa sammanhang har man inte gjort någon skuggningsanalys för självskuggning från andra rader med solcellspaneler.

2.3.1 Önskelista för nordligt solsambbruk

Även om det saknas erfarenhetsbaserad kunskap om solsambbruk i förhållanden som motsvarar Norrbotten kan vi utifrån erfarenheter inom odling och nordlig solkraft var för sig spekulera i en gemensam önskelista. Det är nog svårt att få allt, men några saker vi skulle vilja att ett nordligt solsambbruk uppfyllde inkluderar (utan inbördes ordning):

- Ingen tjälskjutning i anläggningen
- Små skuggningsförluster från snö och intilliggande solpanelsrader
- Vindskydd och förhöjd temperatur under odlingssäsongen
- Skydd mot utstrålningsfrost i början och slutet av odlingssäsongen
- Jämn snöfördelning vintertid (undvika ojämnheter i marktemperatur, förändrat tjäldjup och kvarliggande snöfläckar)
- Så liten och jämn skuggning av marken som möjligt (det är begränsat med ljus)

Önskelistan om man också lägger till allmänna aspekter på solsambbruk kan göras betydligt längre, men detta är saker som vi ser framför oss att man särskilt behöver ta hänsyn i en nordlig kontext.

2.3.2 Solsambbruksanläggningar och forskningsprojekt i Sverige

Det finns ett antal solsambbruksanläggningar i Sverige, se Tabell 3 baserad på en sammanställning från år 2025 (Andrén, 2025). Ingen av dessa är dock belägen över breddgraden 60 °N och det saknas därför möjlighet att studera effekterna av ett norrländskt klimat på solsambbruk.

Det finns även ett antal svenska forskningsprojekt om solsambbruk (Tabell 4) där vissa är kopplade till anläggningarna i Tabell 3; listan är sannolikt inte fullständig. Utifrån de

identifierade anläggningarna och pågående forskningsprojekt i Sverige och utomlands på nordliga breddgrader har vi haft samtal för att lära oss mer och dra nytta av de erfarenheter andra skaffat sig. En del av dessa beskrivs i avsnitt 2.3.3.

Tabell 3. Sammanställning av solsambruksanläggningar i Sverige, bearbetad information från André (2025).

Projekt / Plats	Breddgrad (°N)	Installationsår	Typ av system	Effekt	Odling
Kärrbo Prästgård (Västerås)	59,6 °N	2021–2026	Flera olika typer (konventionella, vertikala, upphöjda, solföljande)	118 kW	Vall
Hova (Mariestad)	58,7 °N	2024	Enaxliga solföljare (upphöjda paneler)	5,9 MW	Raps (test 2026)
Solvallen (Västmanland)	59,5 °N	2023	Vertikala dubbelsidiga paneler (Ö/V)	635 kW	Vall + testgrödor
Eneby gård (Sörmland)	59,4 °N	2023	Fasta och solföljande paneler	43,2 kW	Spannmål, raps
Lilla Böslid (Halmstad)	56,7 °N	2026	Höga, enaxliga solföljare	78 kW	Vet ej
Munkagård (Varberg)	57,1 °N	2026	Vertikala + höga solföljare	470 kW	Vet ej

Tabell 4. Exempel på några pågående forskningsprojekt om solsambruk i Sverige.

Projekt	Organisation(er)	Kontaktperson	Hemsida
Solbruk i Skåne	Region Skåne, Länsstyrelsen Skåne, Energikontor Syd, RISE, med flera	Tove Zällman, Oddvar Fiskesjö	https://utveckling.skane.se/regional-utveckling/verksamhetsomraden/miljo-och-klimat/solbruk/
Solsambruk i Sverige	Science Park Gotland	David Doms	https://scienceparkgotland.se/innovationsarena/samexistens-mellan-jordbruk-och-solbruk/
Solbruk i vårt jordbrukslandskap	Hushållningssällskapet Halmstad, European Energy, RISE, med flera	Håkan Cajander	https://hushallningssallskapet.se/vara-projekt-och-uppdrag/solbruk-i-vart-jordbrukslandskap/
SOLVE	Uppsala universitet, Glava Energy Center, Mälardalens universitet, Högskolan Dalarna	Pietro Campana	https://www.uu.se/en/research/solve/projects/4-land-sharing
PLUS Sol	RISE	Michiel van Noord	https://www.ri.se/sv/projekt/policylab-for-synergier-i-solparkers-multifunktionella-markanvandning

2.3.3 Lärdomar och utbyte med andra aktörer inom nordligt solsambruk

I förstudien har vi tagit kontakt med forskare och experter som jobbar med liknande projekt och anläggningar i nordliga förhållanden. Dessa samtal har kretsat kring att beskriva vårt projekt och diskutera olika utmaningar och lärdomar med deras för att inte behöva uppfinna hjulet på nytt utan kunna dra nytta av deras erfarenheter. Vi har även diskuterat i vilken grad samarbeten är möjliga. Samtalen beskrivs i underavsnitten nedan och kan sammanfattas så här:

I flera länder på nordliga breddgrader har initiativ för att undersöka förutsättningarna för solsambruk tagits, och pilottester pågår längre söderut i Sverige, i Norge och i Alaska. I flera anläggningar har man behövt göra kompromisser och begått planeringsmässiga misstag gällande utformningen och placering av referensanläggningar. Man har också haft problem med sensorer och underhåll vilket givit upphov till databortfall och i vissa fall har man inte kunnat

realisera en testanläggning ännu fast det varit planerat från början. Våra kontakter lyfter vikten av att utforma en forsknings- och demonstrationsanläggning så att den passar det lantbruk som sker i regionen och att vara mycket noggrann i planeringen av studier och anläggningens utformning (till exempel gällande avstånd till referensytor) så att man får tydliga resultat som det går att dra slutsatser från. Man bör inte heller blanda ihop hög biodiversitet med odling i monokulturer: ur ett odlingsperspektiv kan det, men behöver inte, vara problematiskt med ökad biodiversitet i odlingslandskapet då det kan leda till ökat behov av maskinkörning eller besprutning. Lantbrukare har vid diskussioner och mässor varit nyfikna, men också uttryckt en oro kring hur odlingsaktiviteterna kan komma att påverkas negativt. Hur denna påverkan kan se ut och bero på utformning med mera är något som man lämpligen kan förevisa vid en demonstrationsanläggning vilket skulle kunna vara till stor nytta i ett senare implementeringsskede.

Turku AMK (Finland)

Det finska projektet är i ett tidigt skede, ungefär som vår förstudie, och de har en planerad pilot i samarbete med Helsingfors universitet som står för jordbruksstudierna. Företaget som skulle bygga piloten har dock problem och det är osäkert om det kommer bli någon anläggning. Gruppen har alltså ingen praktisk erfarenhet att dela med sig av men vill i sin forskningsanläggning testa olika radavstånd (13 och 24 m) och även upphöjda system (5 m högt). Deras vertikala anläggning skulle ha två rader med liggande paneler över varandra och cirka en meter markfrigång. Fokus i det här skedet för dem är mer på energi än jordbruk – de kommer testa en enskild gröda. Jordbruksstödet är mycket viktigt för det finska lantbruket och detta kan bli problem då det saknas en tydlig definition för solsambbruk i Finland och stödbedömningen görs utifrån satellitbilder och marktäckningsnivå. Deras uppfattning är att den sociala acceptansen är hög, med stort intresse från lantbrukare när de presenterade konceptet på en lantbruksmessa. De lyfte behovet av att förstå tjälskjutning i solparkssammanhang och studera hur marktemperaturer påverkas av anläggningar. Klimat och prestandamätningar planeras med hög tidsupplösning (minutdata). Fokus för deras arbete ligger inte på biodiversitet eller ekologi.

Mälardalens universitet (Sverige)

I denna grupp finns flerårig praktisk erfarenhet från flera svenska solsambbruksanläggningar (Solvallen och Kärrobo Prästgård). Man deltar också i projektet Solbruk i Skåne och har generöst delat med sig av erfarenheter och tydliga tekniska rekommendationer. På Kärrobo Prästgård har man 10 meters radavstånd inklusive en skyddszon på 0,5 m på varje sida om panelerna och ett vertikalt system (Next2Sun) med två rader med liggande paneler över varandra och öst/väst-orientering. Avståndet behöver styras av maskinbredden! På en annan anläggning är det ett CWF-system med stående paneler som tydligen inte funkar lika bra; de har också haft problem med kabeldragningen i detta system.

I sina studier har de sett att kanteffekter kan sträcka sig 4 – 5 meter in från alla håll vilket gör att man bör ha en radlängd på i alla fall 35 – 40 m. Det kan också vara befogat att försöka hålla samma gröda runt om testanläggningen. De har i huvudsak undersökt vall, men även en del andra grödor med bra resultat. De konstaterar att det hade varit värdefullt med prestandauppföljning på modulnivå i stället för som de har det, på växelriktarnivå, och att det är viktigt att tänka igenom fördelning och placering av olika givare och sensorer på ett bra sätt. PAR-sensorer verkar inte vara så viktigt då PAR har visat sig vara mycket linjär i förhållande till den generella solinstrålningen mot marken. De tipsade om marksensorer av typen "SoilScout" men att de är ganska dyra, samtidigt når de sannolikt inte djupt nog i Norrbotten för att fånga hela temperaturprofilen till frostfritt djup. De påtalade också att man kan få problem med

markkompaktering vid byggnationsfasen så det gäller att tänka till var man lägger material och hur man kör med sina maskiner. De har en central väderstation och en hel del lösa instrument som används temporärt och försöker logga data på minutbasis för att sedan aggregera data till en mer lätthanterligt intervall och mindre datamängd. De har inte haft några problem med stenskott på panelerna i sina anläggningar, de har spridit gödsel på fälten vilket fungerat bra, och de har inte sett någon betydande nedsmutsning som påverkar solpanelernas prestanda.

Institutt for energiteknikk (Norge)

På IFE i Norge har man pågående projekt och samarbeten relaterade till vindpåverkan, biodiversitet och natureffekter i solparker även om de själva inte har någon renodlad solsambbruksanläggning för forskning. De har studerat avstånden där det sker en tydlig vindpåverkan och sett att man vid vind tvärs vertikala paneler har en påverkan upp till 20 gånger höjden. Med två meters höjd bör alltså referensodlingsytor placeras >40 m bort (tvärs vindriktning) men lika stort avstånd behövs inte om vinden blåser längs raderna. Dock kan vindtunneleffekter uppstå så man bör ha en icke undersökt buffertzona emellan test och referensytor. Två anläggningar de följer har varit utsatta för kraftig vind där den egenutformade vertikala anläggningen blåste ned medan den från Next2Sun klarade sig bra. De har även noterat att en av deras testanläggningar har referensanläggningen placerad så att den interfererar med testen vilket gör resultaten svåra att tolka. I sina studier har de använt kameror för att undersöka visitationsfrekvens av insekter vid utplacerade blommor i olika skuggningsförhållanden samt insektsfällor och växtrutor för att titta på artsammansättning. För att få representativa resultat belyser de särskilt att man behöver ta hänsyn till variationer i jorden (sammansättning, hydrologi, näringsinnehåll) när man planerar placering och utbredning av sin testanläggning.

University of Alaska Fairbanks (USA)

Fokus på kallt klimat och markförhållanden i ett projekt som löpt i två år men nu har paus. Man har här provat att odla i en befintlig konventionell solpark och utvärderar olika aspekter av energiproduktion och odlingsresultat. Fokus har varit på spenat, potatis, grönkål, samt fodersäd av något slag. Marken var dock inte särskilt väl lämpad för odling från början så de fick börja med jordförbättringsåtgärder. Svårt att se tydligt positiva synergieffekter mellan odling och solkraft i den här uppställningen vilket tillskrivs stor andel skugga i en söderriktad anläggning tillsammans med en förhållandevis dålig jordmån. Resultaten har varit förhållandevis bra för grönkål och de har dragit en del lärdomar kring sensorer. Exempelvis har marksensorer flyttats av tjälen i marken vilket lett till databortfall vilket varit problematiskt för slutsatserna. På samma sätt har de haft svårt att finnas på plats ofta då anläggningen ligger långt från arbetsplatsen för dem som driver forskningsprojektet. Det har också lett till databortfall när det gäller elproduktionen från solcellsanläggningen. De undersöker nedsmutsning av paneler med särskilda sensorer men har inte kunnat se någon signifikant ökad sådan jämfört med i referensytorna. Det kan bero på att maskinanvändningsintensiteten har varit ganska låg. Grödornas stressnivå har analyserats med IR detektor (bladtemperatur) och bladfuktsmätare medan jorden undersökts med markfuktsmätare vilket ger en mängd olika mätdata.

Alstra Energy (Sverige)

På detta företag som är en nylig sammanslagning av Solkompaniet och Energiengagemang har man lång erfarenhet av att bygga solparker och har tidigt varit involverade i flera av de parker som studeras av Mälardalens universitet. Efter en beskrivning av vår tilltänkta forsknings- och demonstrationsanläggning kom de genom Petter Sjöström med flera viktiga inspel och synpunkter. Generellt är det mycket viktigt att man fokuserar på realistiska

jordbruksaktiviteter och undersöker relaterade parametrar på ett sätt så att det går att förstå ur ett lantbrukarperspektiv. Det gäller alltså hur kvaliteten på skörden ser ut, hur skördeavkastningen mäts, och att man använder sig av grödor och sorter som är relevanta för det befintliga lantbruket i regionen. Det är önskvärt om de system som vi nu ska undersöka och sedan förevisa också går att använda i en framtida omställd lantbruksverksamhet, men det varken kan eller bör vara fokus nu. Alstra menar på att det går att fort att bygga en solsambBruksanläggning i den skala vi tänkt. Typiskt tar till exempel pålningen bara en enda dag på plats, men man ska vara beredd på att det kan vara en hel del ställt tid mellan olika aktörer på en sådan här byggarbetsplats. De menar också att en reell risk ur ett tidsperspektiv är att man får problem med maskiner som kör fast och att detta även kan leda till skador på marken. Typiskt vill man därför inte bygga under den blöta och leriga tiden på året men detta går på tvärs med hur tidplanen ser ut om vi vill komma i gång med odling inom området redan på våren – ett dilemma.

Gällande utformning av anläggningen är det viktigt att ha en ramhandling som beskriver alla viktiga delar eftersom olika aktörer och installatörer som inte har hela perspektivet kommer vara involverade. I den bör alla viktiga detaljer beskrivas. De nämner också att det kanske kan vara bra med en växelriktare per rad för att ha redundans om något går fel tekniskt i stället för att ha en central växelriktare.

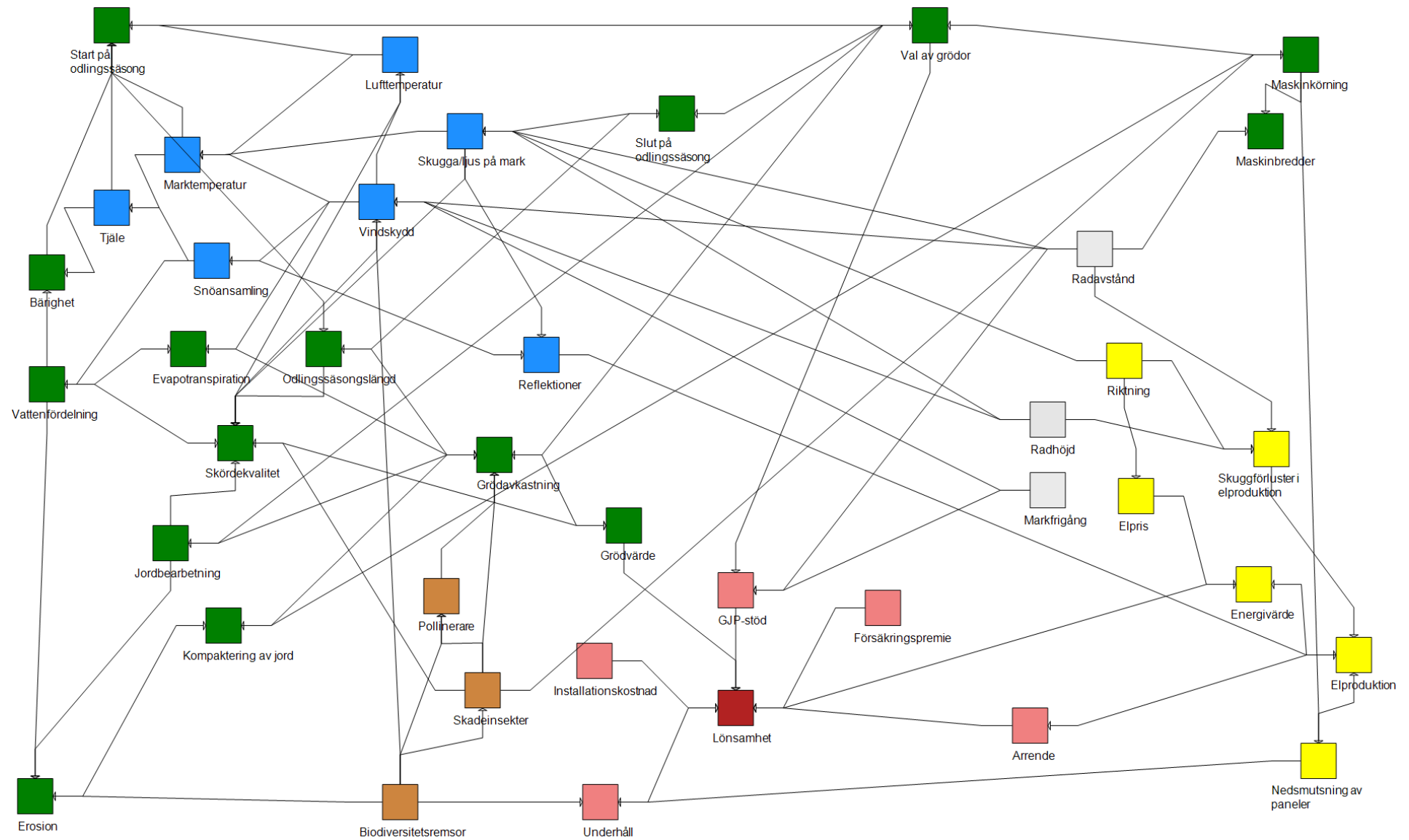
En intressant aspekt som lyftes var huruvida pålarna i sig kan påverka markhydrologi och marktemperatur frikopplat från skuggning och snöansamling. Detta skulle kunna undersökas om man också pålar delar av referensanläggningen men utan att montera paneler. I samma anda kan man fundera på om pålningsmaskinen bör kompaktera marken på referensytorna på samma sätt som för testytorna, om det ska ske på del av ytan, eller inte alls. På samma sätt är det viktigt med hur marken är avvattnad och om kabeldiken kan påverka avrinningen.

En demonstrationsanläggning har inte bara som uppgift att vara en forskningsanläggning utan kan också fungera som exempel. Då kan det vara bra att visa på hur saker *skulle* kunna bli om man gör på något annat sätt än anläggningens utformning – till exempel att snön skulle kunna ligga kvar längre om man monterade med annan orientering. Det har stort värde i dialog och förevisning vore värdefullt i projektseriens tredje fas (implementering)

Ur ett biodiversitetsperspektiv kan det vara relevant för lantbrukarna att undersöka hur sammansättningen av skade- och rovinsekter påverkas men också om man i ängsremsorna får inslag av besvärliga växter som påverkar odlingen. Det skulle man kunna undersöka genom upprepade rut-inventeringar av dessa.

2.3.4 Samspelsfaktorer i ett nordligt solsambbruk

Vi har arbetat fram en karta över några totala faktorer och deras inbördes påverkan i ett solsambbruksperspektiv, denna presenteras i Figur 2. På ett eller annat sätt har alla dessa faktorer en koppling till anläggningens lönsamhet och/eller funktion. Faktorerna påverkar varandra på komplicerade och komplexa sätt och det är ibland inte möjligt att säga om det kommer vara en positiv eller negativ påverkan. Dessutom kan svaret på den frågan vara olika beroende på de lokala förutsättningarna, eller mellan olika år och förhållanden.



Figur 2. Karta över hur olika faktorer interagerar och samverkar positivt och negativt för odling och elproduktion. Gula noder representerar faktorer primärt kopplade till elproduktion, gröna till odling, blåa till klimat, bruna till miljö, och rosa till ekonomi. Kartan är inte komplett då noder och interaktioner kan tillkomma eller försvinna beroende på lokala förutsättningar och behov.

Samverkanskartan är inte komplett, varken med avseende på faktorer eller på deras inbördes relationer och vi kommer här inte heller beskriva hela den karta vi tagit fram. Ett samspel mellan olika faktorer för solsambbruk i Norrbotten används nedan som exempel på hur dessa samverkande faktorer kan sprida sig genom "kartan". Det tar utgångspunkt i hur anläggningen utformas och hur det påverkar andra aspekter. "Radhöjd", "radavstånd" och "markfrigång" i gråa rutor, samt "riktning" i gul ruta påverkar nämligen "vindskydd" och därigenom hur "snöansamling" sker lokalt inom anläggningens område. Detta kan ske i olika utsträckning beroende på vindriktningen i samband med snöfall. Snöansamling kan vara av särskild betydelse för jordbruket inom området eftersom ansamlingar med snö kan komma att påverka markens hydrologi, marktemperatur och tjäldjup (blåa rutor) och därigenom när man kan börja bruka marken med maskiner och när vårbruket kan påbörjas. Det i sin tur kan påverka odlingssäsongens längd, vilka grödor som kan odlas, hur stor skörden blir och vilken kvalitet den får (gröna rutor) vilket påverkar lönsamheten. Vindskydd vintertid skulle på så sätt kunna leda till försämringar för odling, samtidigt som vindskydd sommartid skulle kunna ge ett förbättrat mikroklimat genom reducerad vindstress och högre temperaturer. En hög markfrigång ökar vindgenomsläpligheten och gör att solcellerna inte blir skuggade i nederkant av snö under vintern (gula rutor), vilket dock samtidigt minskar mikroklimateffekterna. Lönsamheten (röd ruta) påverkas alltså både av hur förutsättningarna för odling och för elproduktion förändras.

Samspelet mellan olika faktorer tar sig utifrån varje nod vidare och bildar ett komplext nätverk där varje designparameter för anläggningen kan komma att få långtgående konsekvenser beroende på platsens förutsättningar. Sannolikt finns det inte en lösning som passar alla situationer optimalt och för att kunna fatta objektiva beslut om hur solsambbruksanläggningar ska utformas för att fungera bra behöver vi bättre förstå många av interaktionerna presenterade i Figur 2. Eftersom interaktionerna finns i flera nivåer och är så komplexa krävs noggrant planerade och utformade studier för att man ska kunna dra tydliga slutsatser.

2.3.5 Miljömässig hållbarhet

Solenergi betraktas ofta som en av de mer hållbara energikällorna, eftersom den är förnybar och inte ger upphov till betydande utsläpp av växthusgaser under drift. Ur ett livscykelperspektiv är dock solcellssystem inte fria från miljöpåverkan. Utsläpp innan solcellsparken kan tas i bruk innefattar utvinning av mineraler i gruvverksamhet, industriutsläpp vid produktion av solcellerna, utsläpp från transporter samt utsläpp vid markförberedande åtgärder och montering. Under parkens livstid har den en påverkan på ekologin i närområdet samt genom eventuell kemikalieanvändning vid rengöring av solpaneler, vilket dock inte är så vanligt i Sverige (Zhang m. fl. 2023). Efter solcellsparkens livslängd krävs en adekvat avfallshantering för att minimera negativ miljöpåverkan, där materialen hanteras på rätt sätt, inga giftiga ämnen läcker ut i naturen, och där material som kan återanvändas tas tillvara (Nain & Kumar, 2020). I den resurshanteringen uppstår nya utsläpp, både i bearbetning, transport och avskaffande av avfallet.

En central fördel med solsambbruk är att elproduktion och jordbruk kombineras på samma markyta och därmed kan behovet av ytterligare markexploatering minska jämfört med om energiproduktion och jordbruksproduktion etableras separat. I försöksanläggningen Heggelbach i södra Tyskland rapporterades 17 % lägre elproduktion och 3 % högre potatisproduktion jämfört med separata system, vilket motsvarade en markekvivalenskvot (Land Equivalent Ratio, LER) på 1,86. Det innebär att samma mängd el- och

jordbruksproduktion hade krävt 86 % mer mark om systemen varit åtskilda (Fraunhofer ISE, 2020). Resultat visar att solsambbruk kan bidra till högre markanvändningseffektivitet och därmed potentiellt minska ekologiska konsekvenser kopplade till ny markanvändning, såsom habitatförlust, fragmentering och barriäreffekter.

Hur stor miljöpåverkan ett solsambbrukssystem ger upphov till beror i hög grad på val som görs i planerings- och designskedet. Både teknikval, parkens strukturella uppbyggnad, val av landområde och jordbrukets struktur påverkar parkens miljöpåverkan (Pettersson m. fl. 2022).

Olika typer av solceller har olika stor klimatpåverkan. Kiselbaserade solceller har större klimatpåverkan än tunnfilmssolceller, både i absoluta tal och beräknat per producerad energi. Ändå är det paneler med monokristallina kisel-solceller som fullständigt dominerar marknaden idag. Det är svårt att redovisa relevanta absoluta tal eftersom utsläppen över en livscykel beror av hur mycket energi som en panel i ett system producerat, vilket i sin tur beror av var och hur det installerats. I en jämförelse från 2024 (IEA, 2025) framgår dock att vid lika installationsförhållanden är avtrycket från CdTe solceller cirka 30 % lägre än det från monokristallina solceller vars avtryck sjunkit avsevärt de senaste åren. De data som presenteras för tunnfilmssolcellerna är några år äldre vilket beror på att marknadsandelen för dem blivit så liten. Solcellernas tillverkningsland är också en viktig faktor för klimatpåverkan, då elproduktionen i tillverkningsprocessen har stor påverkan på solcellens totala utsläpp ur ett livscykelperspektiv. Är solcellspanelen tillverkad i ett land med hög andel förnybar energi kommer den totala klimatpåverkan av solcellspanelen vara betydligt mindre än om den är tillverkad i ett land med hög andel fossil energi (Askemar & Van Noord, 2021).

Utöver själva solcellstekniken är monteringsstruktur och systemdesign särskilt viktiga i solsambbruk. Till skillnad från konventionella markmonterade solcellsparker behöver solsambbruk utformas för att samtidigt möjliggöra odling, maskinell drift eller bete. Detta kan kräva upphöjda konstruktioner, vilket i sin tur ofta ökar materialåtgången, särskilt mängden stål. Flera livscykelanalyser visar att just konstruktionen är en avgörande faktor bakom skillnader i klimatpåverkan mellan olika solsambbrukssystem (Krexner m. fl. 2024; Zad m. fl. 2025). Mer materialeffektiva lösningar, såsom vertikala eller lägre monterade system, kan därför ha lägre klimatpåverkan än upphöjda system med mer omfattande bärande strukturer. Samtidigt påverkar lokala förhållanden, såsom solinstrålning, hur stora utsläppen blir per producerad kWh. I ett svenskt sammanhang innebär den lägre solinstrålningen generellt att klimatpåverkan per producerad energi (kWh) blir högre än i sydligare delar av Europa, även om systemen fortfarande kan prestera bättre ur klimatsynpunkt än nationella elmixar (Zad m. fl. 2025; Valencia m. fl. 2026).

Solsambbruk kan påverka den lokala ekologin på flera sätt. Vid ny etablering förändras förutsättningarna för lokala arter som är anpassade efter den naturliga miljön. Habitat kan förstöras och landskapet fragmenteras. Jordbruket, solpanelerna och eventuella omkringliggande stängsel kan verka som barriärer för arter och därmed försämra djurs förutsättningar att röra sig och sprida sig i landskapet, så kallad konnektivitet. För att begränsa skadorna vid solparksbyggandet kan planering och utformning utgå från hänsynstrappan, vilket innebär att man vill undvika påverkan, därefter minimera, restaurera och vid behov kompensera. I ett solsambbruk kan detta exempelvis innebära att välja redan brukad mark och komplettera anläggningen med habitatförbättrande åtgärder såsom blommande kantzoner, småvatten eller träd- och buskstrukturer där detta är lämpligt (Pettersson m. fl. 2022).

Kunskapsläget kring påverkan på fåglar är inte entydigt. Det finns positiva effekter av solpanelerna, då den strukturella komplexiteten i solsambbruk kan bidra med skydd och häckningsplats (Jarcuska m. fl. 2024). Kollisioner mellan fåglar och solceller var relativt ovanligt jämfört med andra fågelrelaterade kollisionsrisker i en amerikansk studie (Walstron Jr m. fl. 2016). Sveriges Ornitologiska förening - Birdlife Sverige (2023) rekommenderar ändå antireflexbehandlade paneler för minskad kollisionsrisk då det minskar risken för att sjöfåglar misstar panelerna för vattenytor. Även insekter, som förlitar sig på polariserat ljus som reflekteras från ytor, kan luras av reflektionen av solceller, vilket kan leda till att de lägger ägg på olämpliga platser och därmed får en minskande population (Fritz m. fl. 2020). Birdlife Sverige (2023) rekommenderar att panelraderna bör ha ett avstånd på minst tre meter från varandra för att minska risken för att födosökande fåglar känner sig instängda. Avståndsrekommendationen går väl i linje med utformningen av solsambbruk, då avstånd ändå lämnas för odling mellan vertikala solpaneler, eller för ljusinsläpp mellan upphöjda solpaneler.

Solpaneler påverkar mikroklimatet i sin närhet, vilket i sin tur påverkar förutsättningarna för växter och djur att vistas där. Effekterna innefattar skuggning, minskad avdunstning, skydd mot kraftigt regn, vindskydd och påverkan på luft- och jordtemperatur (Petersson m. fl. 2022; Solar Power Europe, 2024; Barron-Gafford m. fl. 2016). Dessa förändringar kan i sin tur påverka växtetablering, artsammansättning, erosion och markprocesser. I en solsambbruksanläggning i Vikersund, Norge, med öst-västligt lutade paneler i marknivå, observerades minskade temperaturfluktuationer i jorden, ökad dygnsvariation i luften, en långsammare uttorkning av översta jordlagret och minskade vindhastigheter. Skillnader i vegetation observerade under första året inkluderade minskad vegetationstäckning under panelerna och tydligt skild artsammansättning jämfört med utanför panelerna (Honningdalsnes m. fl. 2025). I en annan norsk studie om solsambbruk, modellerades mikroklimatet mellan öst-västliga vertikala solpaneler, utanför Trondheim. Det visade på ökade temperaturfluktuationer i jorden, en ökad lövtemperatur hos grödan, särskilt i närheten av panelerna, och minskade vindhastigheter (Di Sabatino m. fl. 2024). Mikroklimatet påverkas av systemets orientering, höjd, täthet och lokala klimatförhållanden. För jordbruket kan detta innebära både möjligheter och begränsningar beroende på gröda och plats. Minskad vindhastighet kan exempelvis minska erosion och förlust av markmaterial, medan förändrade ljus- och temperaturförhållanden kan påverka växtutvecklingen på olika sätt.

Sammantaget visar tidigare studier att solsambbruk har potential att bidra till mer effektiv markanvändning och i vissa fall till lägre miljöbelastning än separata system för elproduktion och jordbruk. Samtidigt är miljönyttan inte generell, utan beror på en rad plats- och designspecifika faktorer. Teknikval, materialanvändning, lokalisering, jordbruksinriktning och ekologisk anpassning har stor betydelse för utfallet. Den samlade litteraturen pekar därför på att solsambbruk bör förstås som ett system där hållbarheten i hög grad avgörs av hur anläggningen planeras, utformas och förvaltas över tid.

2.3.6 Social hållbarhet

I förstudien ingår en genomgång av tidigare studier om solsambbruk för att få insyn i dess sociala hållbarhet samt de metoder som har använts för att undersöka och bedöma den. Litteraturgenomgången har i första hand fokuserat på fallstudier med förutsättningar som liknar dem för en solsambbruksanläggning i Norrbotten. Då antalet nordiska studier som behandlar social hållbarhet inom solsambbruk är begränsat omfattar granskningen även internationella solsambbruksstudier samt forskning om konventionella solcellsanläggningar i landsbygdsområden.

Vi har valt att dela in begreppet social hållbarhet för solsambruk i tre nivåer: 1. *direkta sociala aspekter*, 2. *viktiga sociala frågor* och 3. *samhällskonsekvenser*.

Direkta sociala aspekter

Dessa beskriver hur solsambruk påverkar människor, verksamheter och samhällsfunktioner på en konkret nivå. De avser tydliga och relativt avgränsade former av social påverkan som kan observeras eller mätas, exempelvis buller, antal arbetstillfällen eller kränkningar av mänskliga rättigheter. Analysen av de direkta sociala aspekterna används för att identifiera vilka viktiga sociala frågor som är mest betydelsefulla i det aktuella sammanhanget.

Viktiga sociala frågor

Viktiga sociala frågor avser de behov, prioriteringar och utmaningar som berörda intressentgrupper kopplar till solsambrukets direkta sociala aspekter. Vilka frågor som är centrala beror dels på lokala sociala behov och utvecklingsutmaningar, exempelvis lokal ekonomisk utveckling, dels på vilka samhällsresurser och funktioner som verksamheten är beroende av för att kunna bedrivas (Goedkoop, M.J m. fl. 2020).

Samhällskonsekvenser

Valet av samhällskonsekvenser som analyseras grundas i de direkta sociala aspekter och viktiga sociala frågor som identifieras. Samhällskonsekvenser avser här de bredare effekter som kan uppstå till följd av de identifierade sociala aspekterna och frågorna, till exempel social acceptans, rättvis omställning och samhällsresiliens. På denna nivå analyseras betydelsen av solsambrukets påverkan på samhället och dess resurser utifrån de risker och möjligheter som etablering och drift kan innebära för berörda intressenter (Punch, 2005; Goedkoop, M.J m. fl. 2020)). Genom att inkludera både social påverkan, risker och möjligheter ligger den föreslagna sociala konsekvensbedömningen i linje med principerna för väsentlighetsbedömning inom CSRD standard för hållbarhetsrapportering (European Commission, 2023).

Subjektiva perspektiv är en del av samhällsvetenskaplig forskning (Trigg, 2000). Frågan om *vems* direkta sociala aspekter, viktiga sociala frågor och samhällskonsekvenser en social hållbarhetsanalys avser är därför lika viktig som frågan om *vilka* aspekter, frågor och konsekvenser som analyseras (Potter m. fl. 2008). Identifiering av relevanta intressentgrupper utgör en central del av både Social Life Cycle Assessment (S-LCA) (Goedkoop, M.J. m. fl. 2020), väsentlighetsanalyser (European Commission, 2023) och andra samhällsvetenskapliga metoder.

De intressentgrupper som bedöms ha en väsentlig koppling till de beskrivna sociala nivåerna som analyseras i denna förstudie är:

- Lokalsamhället
- Egen arbetskraft (anställda på jordbruket)
- Enskilda företagare (jordbrukare)
- Konsumenter
- Medarbetare i solcellsvärdekedjan
- Lokalsamhällen i solcellsvärdekedjan

I denna förstudie används intressentgrupperna på ett generellt sätt för att strukturera arbetet med identifiering av solsambrukets direkta sociala aspekter, viktiga sociala frågor och samhällskonsekvenser.

Tabell 5. Identifierade direkta sociala aspekter och viktiga sociala frågor med avseende på social hållbarhet kopplade till solsambruk.

Viktiga sociala frågor	Direkta sociala aspekter	Källa
Demokratiska frågor	• Des-/information om solsambruk • Intressentdialog och deltagande • Äganderätt och självbestämmande • Arrendatorers begränsade beslutsrätt, representation, vinstdelning och risk för vräkning	Rixham (2025); Ipsos (2020); Ljungström & Hörnelius (2023); IEA (2025)
Lokal nytta och påverkan på landsbygdskultur	• Användning av lokala leverantörer • Arbetstillfällen, kompetens och kunskap ○ Bygghus, underhåll och leverantörsled ○ Större ekonomisk betydelse i mindre samhällen ○ Behov av rådgivning och kunskapsstöd ○ Osäkerhet kring nya koncept och affärsmodeller • Byggbosättningar nära lokalsamhällen kan gynna lokal ekonomi • Visuellt påverkan (till exempel upplevd störd utsikt eller ljusföroreningar som reflexer) • Välmående kopplat till natur- och kulturmiljö • Äldre kan vara mer känsliga för förändringar i landsbygdskulturen • Lokalisering • Buller • Lokal elförsörjning och lägre elkostnader • Kultur- och byggnormer kan påverka investeringsviljan	Rixham (2025); Pettersson (2022); Ipsos (2020); Tawalbeh m. fl. (2021); IEA (2025); Biro-Varga m. fl. (2024); Pellegrini m. fl. (2024); Pascaris m. fl. (2022); Zhang m. fl. (2023)
Konkurrens, risker och samverkans effekter mot livsmedelsproduktion	• Risker för långsiktiga markkvalitet --> vid avveckling; föroreningar från skadade solpaneler • Affärsmodeller anpassade till jordbruksekonomin • Höga vinster kan skapa tryck för undantag från produktionskrav • Högre förväntningar från samhället på jordbruket: livsmedel, el och råvaror produktion • Minskad markanvändningskonkurrens kan minska motstånd mot solel • Minskade underhållskostnader för solel • Egen elförsörjning på gården	Rixham (2025); IEA (2025); Pellegrini m. fl. (2024); Nain & Kumar (2020)
Regelverk och rättssäkerhet	• MKB-krav kan styra mot mindre anläggningar • Svårt att skapa samsyn kring regelverk • Oklar klassificering av dubbel markanvändning • Otydliga regelverk och sociala riktlinjer • Efterlevnad av regelverkets anda kan gynna social acceptans	Ljungström & Hörnelius (2023); IEA (2025)
Påverkan och risker i värdekedjan	• Brister i arbetsmiljön och hälsoskydd --> Produktion av kritiska råmaterial, komponenter och paneler • Hälsopåverkan på lokalsamhällen --> klimat, vatten och luftutsläpp under tillverkning • Risk för tvångsarbete --> Kina dominerar global solcellstillverkning, 40 % av Kinas produktion är i Xinjiang --> risk i tillverkning för människorättskränkningar • Geopolitisk och ekonomisk risk genom koncentration till Kina --> solcellsleveranser och underhåll sårbarhet för handelshinder, prisökningar och leveransstörningar	IEA (2022); UN OHCHR (2022); Murphy & Elima (2021)
Målkonflikter och avvägningar (ej utförlig)	• HSAT-paneler kan öka sysselsättning och maskinskydd men ökar teknisk komplexitet • MKB-trösklar kan gynna mindre anläggningar • Lokalisering kan minska visuell påverkan vs stärka vattenresiliens • Större anläggningar kan ge högre lönsamhet medan mindre ofta har hög lokal acceptans • Jordbruket värnar om skydd för livsmedelsproduktion, solelindustrin vill förenkla regelverk • Markägares nyttjanderätt kan stå i konflikt med bevarandet av kulturlandskap	

Litteraturgenomgången visar att ett solsambbruks sociala hållbarhet i stor utsträckning beskrivs genom de samhällskonsekvenser (tredje nivån) som kan uppstå i samband med etablering och drift av anläggningar, exempelvis social acceptans, rättvis omställning och samhällsresiliens (Ipsos, 2020; IEA, 2025; Pellegrini m. fl. 2024; Rixham, 2025; Torma & Aschemann-Witzel, 2023). Dock inkluderar dessa samhällskonsekvensanalyser i olika utsträckning analys av direkta sociala aspekter och viktiga sociala frågor. Motstridiga anspråk på markanvändning och den sociala påverkan som följer av förändrad markanvändning framhålls återkommande som centrala orsaker till sociala utmaningar kopplade till solsambbruk (Pascaris m. fl. 2023; Torma & Aschemann-Witzel, 2023). Fokus på dessa konsekvensområden synliggör de risker och möjligheter relaterade till social hållbarhet som kan uppstå vid genomförande av en solsambbruksetablering.

I strävan att redovisa det nuvarande vetenskapliga kunskapsläge om solsambbruk vad gäller social hållbarhet sammanfattar Tabell 5 de vanligaste direkta sociala aspekterna och viktiga sociala frågorna som identifierats i litteraturen. Direkta sociala aspekter utgör huvuddelen av data som hämtades in från litteraturen. Grupperingen av direkta sociala aspekter under viktiga sociala frågor har däremot skett som del av förstudiens egen analys, och kategorin finns inte uttryckligen i litteraturen. Dessa aspekter och frågor används för bedömningen av solsambbrukskoncept.

Identifierade samhällskonsekvenser; samhällsresiliens, social acceptans, rättvis omställning

Solsambbruk har potential att bidra till samhällsresiliens genom att stärka motståndskraften i jordbrukssektorn, livsmedelsförsörjningen och lokalsamhället. På kortare sikt kan detta exempelvis ske genom ökad energitrygghet för jordbruket och lokalsamhället samt genom en diversifiering av jordbruksekonomin som förbättrar jordbrukets lönsamhet (Pellegrini m. fl. 2024). På längre sikt kan solsambbrukets bidrag till en starkt jordbruksekonomi potentiellt locka fler människor att arbeta inom jordbrukssektorn (Hill, 2026) och därigenom öka motståndskraften i livsmedelsförsörjningen. Frågor om rättvisa och mänskliga rättigheter är centralt i arbetet med social hållbarhet. Genom att en solsambbruksetablering påverkar det kringliggande samhället och dess politiska förutsättningar är social hållbarhet av strategisk betydelse för etableringens implementering. Vilken inverkan ett solsambbruks negativa sociala påverkan har beror delvis på hur den fördelas samt vilka sociala nyttor som skapas och för vem (Öhlund, 2022). Här blir följande frågeställningar aktuella: 1. Vad får samhället i utbyte mot en solsambbruksanläggning? 2. Upplevs dess etablering och drift gå rättvist till i skalan mellan *information, dialog, delaktighet och samverkan*? (Ipsos, 2020 & Khan, 2025) Och 3. Erkänns relevanta aktörers olika och potentiella motstridiga intressen? (Khan, 2025).

Svaren på dessa frågor gentemot berörda intressenter kan påverka sociala, ekonomiska och politiska risker (Björklund, 2026 & Bergfors, 2022) eller möjligheter (Devine-Wright, 2008; Lind m. fl. 2025; Upham m. fl. 2013 & Milani m. fl. 2024) för en solsambbruksanläggnings egen etablering eller framtida projekt. För att få en hög acceptans behöver därför solsambbruksanläggningar balansera väsentliga sociala och miljömässiga aspekter (IEA, 2025; Pellegrini m. fl. 2024). Identifiering av de viktigaste avvägningarna och målkonflikter kan bistå hanteringen av den här balansgången. Att spåra ändringar över tid i den upplevda rättvisan och social acceptans kopplat till en solsambbruksanläggning är viktigt för att kunna utreda hantering av sådana målkonflikter över en längre tidshorisont.

Metodmässiga aspekter kopplade till tidigare studier

I tidigare studier har samråd och medborgarsamlingar använts för att identifiera och fördjupa förståelsen av social hållbarhet kopplad till en eventuell solsambbruksetablering. I dessa studier

har samråd genomförts återkommande under projektens olika faser, från planering och byggnation till drift, för att fånga hur uppfattningar, erfarenheter och sociala effekter utvecklas över tid (Pascaris m. fl. 2021; Victoria m. fl. 2025; Zeddies m. fl. 2025). Dialogerna behandlar bland annat lokal nytta, kulturmiljö, konkurrens om jordbruksmark samt energisäkerhet och grad av självförsörjning på el (Pascaris m. fl. 2021; Victoria m. fl. 2025). Dialogerna används också för att identifiera lokala behov, möjligheter och utmaningar, belysa centrala sociala avvägningar och identifiera eventuella gränser eller "röda linjer" för etableringen. Enkäter, intervjuer och workshoppar används för att samla in och följa upp data om de sociala aspekter som identifierats som särskilt relevanta. Metoderna möjliggör en systematisk uppföljning av lokalsamhällets upplevda påverkan och sociala acceptans under projektets olika faser (Pascaris m. fl. 2021; Victoria m. fl. 2025; Zeddies m. fl. 2025).

Bedömning av identifierade solsambbrukssystem

Med utgångspunkt i de direkta sociala aspekter som identifierats i litteraturöversikten och sammanställts i Tabell 5 görs här en översiktlig bedömning av hur olika solsambbrukskoncept i ett nordiskt sammanhang kan skilja sig åt ur ett socialt perspektiv. Bedömningen syftar inte till att gå igenom samtliga direkta aspekter och viktiga frågor i tabellen, utan fokuserar på de som bedöms vara mest relevanta för att belysa sociala skillnader mellan olika solsambbrukskoncept. Dessa ska även ses i ljuset av de samhällskonsekvensområden som identifierades i litteraturöversikten, i den mån det är möjligt.

Sammantaget indikerar litteraturen att de flesta sociala konsekvenser inte primärt avgörs av den tekniska utformningen i sig, utan av hur etablering, drift och avveckling genomförs och förankras lokalt. Utsträckning på tillgång till information, meningsfulla samråd (Ipsos, 2020), lokalt inflytande och tydliga regelverk (IEA, 2025) påverkar hur rättvis och legitim etableringen uppfattas, oavsett teknisk lösning. Social acceptans, lokal nytta, rättvis omställning och samhällsresiliens påverkas därför mycket av planerings- och beslutsprocesser oavsett koncept (Ipsos, 2020).

I den mån som ett solsambbruks sociala hållbarhet styrs av skillnader mellan olika solsambbruksformer står etableringens tekniska storlek och utformning, affärsmodell och finansieringsform ut som de variabler som har störst påverkan (IEA, 2025). Större och mer tekniskt komplicerade anläggningar (till exempel solföljande solcellssystem) kan generera större ekonomiska effekter genom fler arbetstillfällen och mer lokal handel under byggfasen (Ipsos, 2020), underhåll under driftfasen (Pellegrini m. fl. 2024), och bidra mer till lokal elförsörjning (Ipsos, 2020; IEA, 2025; Pellegrini m. fl. 2024). Dock kan detta innebära mer omfattande visuella och fysiska ingrepp i landskapet (Biro-Varga m. fl. 2024). Mindre och mer gårdsnära anläggningar uppfattas ibland som mindre ingripande, men ger samtidigt ofta mer begränsade ekonomiska effekter (Biro-Varga m. fl. 2024). Val mellan solsambbruksform (marknära, vertikala och overhead-baserade), samt anläggningens placering och utformning (till exempel radavstånd mellan solceller, användning av buskage, topografisk design) samspelar i solsambbrukets påverkan på landskapsbilden (Pettersson m. fl. 2022 & Ipsos, 2020). Dessa val kan anpassas för att minska solsambbrukets visuella påverkan och ljusföroreningar, bidra till bullerskydd längs vägar samt samordnas med jordbrukets verksamhet i syfte att integrera solsambbruket i den befintliga lokala kulturmiljön (Tawalbeh m. fl. 2021).

Hur solsambbruk påverkar jordbruksverksamheten är en viktig faktor för dess acceptans bland jordbrukare. Solsambbruk kan potentiellt minska konkurrens mellan energi- och livsmedelsproduktion genom dubbel markanvändning (IEA, 2025; Pellegrini m. fl. 2024). Det finns dock en oro bland jordbrukare att solsambbrukets potential för höga intäkter från

elproduktionen, särskilt med större anläggningar, kan ge incitament till att prioritera elproduktion framför livsmedelsproduktion (Lilla Böslid, 2025 & Rixham, 2025) och därigenom öka trycket att försvaga regelverk som skyddar jordbruksmarkens produktionsfunktion (Lilla Böslid, 2025 & IEA 2025). Förutom detta kan påverkan från och risker med olika koncept variera beroende på bruksförutsättningar, maskinanvändning, och dränering (Lilla Böslid, 2025; Pellegrini m. fl. 2024) samt markkvalitet (risk för markföroreningar från giftiga ämnen som släpps från skadade solceller vid exponering för regn (Nain & Kumar, 2020)). Mindre anläggningar med fokus på gårdens egen energiförsörjning kan därför uppfattas som mindre riskfyllda ur ett jordbruksperspektiv än större anläggningar där elproduktionen utgör en större del av solsambbruksverksamheten.

Vilken lokal nytta solsambbruken kan ge varierar mellan olika koncept. Skillnader i ägandeformer (Pellegrini m. fl. 2024), finansieringsmodeller och driftorganisation påverkar hur ekonomiska värden fördelas mellan markägare, lokalsamhälle och externa aktörer. Det finns exempel på projekt med förnybar energi som illustrerar begränsningar i långsiktig lokal acceptans trots en lokal ekonomisk nytta (Svenska Vindbolaget AB & Rätansbygdens byalag, 2011 & Norin, 2026). Andra värden som till exempel en rättvis och proportionerlig andel av samhällsansvar för förnybar energitillförsel eller tillgång till orörd natur och kulturmiljö kan överträffa de värden av lokal ekonomisk nytta som en etablering kan generera (Björklund, 2026 & Bergfors, 2022).

Utöver lokala effekter löper de olika koncepten stora sociala risker kopplade till tvångsarbete och kränkningar mot mänskliga rättigheter (UN OHCHR, 2022 & Murphy & Elima, 2021), på grund av Kinas dominans i den globala solcellsvärdekedjan (IEA, 2022). Dessa aspekter påverkas främst av val av leverantörer och inköpsstrategier snarare än av vilket solsambbrukskoncept som väljs. Om solsambbrukets lönsamhet blir beroende av inköp av billigare solelustrustning kan det innebära ett indirekt beroende av de negativa sociala konsekvenser som möjliggör de lägre produktionskostnaderna i tillverkningsledet. Detta kan skapa risker i värdekedjan som står i konflikt med principerna för en rättvis omställning (European Commission, 2023).

3 Solsambbruk på Öjebyn Agro Park

3.1 Förutsättningar för testområdet

Öjebyn Agro Park (Hushållningssällskapet Norrbotten-Västerbotten) äger cirka 135 hektar åkermark i Öjebyn. Delar av arealen är utarrenderad, men cirka 55 hektar är tillgängliga för Hushållningssällskapet's egen produktion och försöksverksamhet. Figur 3 visar ett sammanhängande område som är cirka 45 hektar i närheten av huvudbyggnaden. Då området är relativt stort finns också goda valmöjligheter för placering av en solsambbruksanläggning men för att odlingen i ett sambruk med elproduktion ska leverera relevanta data, måste man också planera för en referensyta för opåverkad odling och en referensyta för opåverkad solelproduktion.



Figur 3. Översiktsbild på de sammanhängande tillgängliga områdena i närheten av huvudbyggnaden (blå cirkel) på Öjebyn Agro Park.

Odlingsbetingelserna inom det markerade området är relativt likvärdiga. Dock finns en kontinuerlig förändring i lerhalt som man bör ta i beaktande. Lerhalten i jorden ökar i den pilens riktning i Figur 3. En hög lerhalt innebär att jorden har en stor förmåga att lagra vatten medan dess motsats i praktiken är en sandjord där vattnet rinner rakt ner. Väljer man grödor som kräver bevattning (till exempel vissa grönsaker med svaga rotsystem) kommer tillgänglig areal minska, då det inte finns möjlighet att bevattna alla 45 hektaren. Möjlighet till bevattning finns där lerhalterna är lägst (~sydost i figuren ovan). Det är dock möjligt att bevattna även andra ytor på egendomen, men då kommer investeringar krävas i form av slangar/ledning, pumpar och liknande.

Ytterligare en väsentlig aspekt att ta hänsyn till, både på Öjebyn Agro Park och på åkermark i allmänhet i Norrbotten, är de befintliga dräneringssystem som finns på delar av arealen. Vanligtvis ligger ett dräneringssystem på ett djup av 70–100 cm. Topografin och markförhållanden på det aktuella fältet avgör hur ett dräneringssystem utformas. Närvaron av ett *fungerande* dräneringssystem kan därför påverka utformningen av hela solsambbrukslösningen, men det är vanligt att de befintliga dräneringssystemen inte fungerar fullt ut. Ett exempel från Öjebyn Agro Park på hur ett dräneringssystem i form av ett täckdikningssystem kan se ut på en odlingsyta presenteras i Figur 4. De naturgivna förutsättningarna i stora delar av kustområdena i norra Sverige innebär sura jordar (lågt pH) och förekomst av järn. Det är en utmanande kombination då de tillsammans med syretillgång leder till att rost faller ut och bildar en mycket hård beläggning runt de slangar/rör som ska dränera marken. Ett ickefungerande dräneringssystem innebär inte något hinder för en etablering av solpaneler med sina fundament. Då bör det i stället övervägas om ett nytt dräneringssystem ska anläggas samtidigt som solsambbruksanläggningen. En mycket grov kostnadsuppskattning för ett dräneringssystem är cirka 100 tkr per hektar.



Figur 4. Exempel på ett täckdikningssystem på Öjebyn Agro Park. Gula linjer är grenledningar ("sugare"), bruna är stamledningar, och blåa utgör huvudavlopp (dike). Den osäkra funktionen indikeras av frågetecknen.

Om en solsambruksanläggning och en referensyta för odling ryms inom en hektar (vilket är vad som planeras) skulle de kunna placeras enligt ruta a eller ruta b i Figur 5. Placeringen ska idealt uppfylla en mängd olika kriterier, inklusive gott om avstånd till andra skuggande element för att inte påverka elproduktionen (särskilt i söder, öster och väster), strukturer (t.ex. skogsdunge, plank) som påverkar vindar, lä och snöansamling, kort anslutningsväg till elnätet, tillgång till körvägar för installationsfordon och senare access till området, ingen påverkan på befintliga långliggande odlingsexperiment, tillgång till bevattning beroende på val av gröda och om det kommer krävas i framtiden, och jämna mark och odlingsförhållanden inom området. Ett område i direkt närhet till huvudbyggnaden är ruta a i Figur 5. Eftersom skiftena är orienterade i nordvästlig riktning kan denna dock innebära att det blir områden runtom som är svåra att bruka effektivt. Detta är mycket viktigt att ta hänsyn till när solsambbruk implementeras ute hos lantbrukare, men i denna forskningsstudie är forskningsresultaten kring solsambbruk viktigare än anläggningens faktiska lönsamhet. Med bra grunddata och kunskap kan den sedan extrapoleras till andra förutsättningar, men man kan inte göra tvärtom.



Figur 5. Förevisning av en ur flera perspektiv lämplig placering för en 1 hektar stor yta för solsambruk och referensodling (a) och dess markanspråk, samt en möjlig men mindre lämplig placering (b) på grund av skugga. Gul linje markerar en kraftledning med stolpar i närheten och orange linje är en vattenledning längs med en körväg som möjliggör bevattning och access till området.

3.2 Föreslagen forsknings- och demonstrationsanläggning

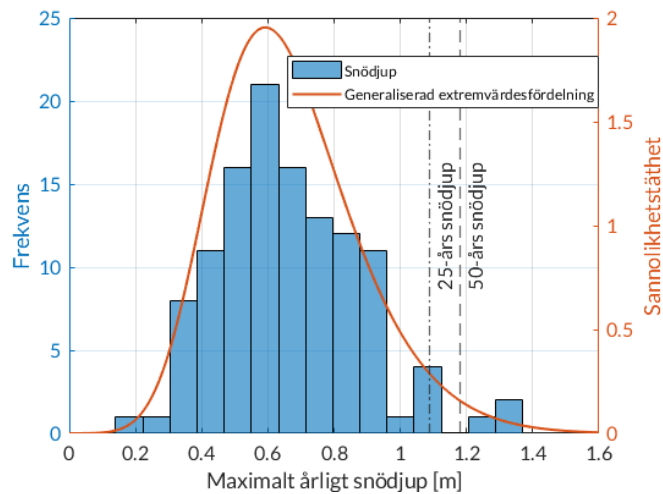
Detta avsnitt innehåller en beskrivning av den utformning vi utifrån förstudien anser vara mest lämpad på Öjebyn Agro Park. För att bli heltäckande bör anläggningen bestå av tre fysiska delar: En solsambruksanläggning där grödor odlas på samma mark som solcellsanläggningen, en referensyta för odling där förutsättningarna är likadana som i solsambruksanläggningen men där solcellsanläggningen saknas, och en referensyta för solelproduktion utan krav på att odling ska kunna ske inom området. Odlingsreferensen är nödvändig för att man ska kunna dra några slutsatser kring hur grödorna klarar sig och vilka eventuella nyttor och nackdelar som solcellsanläggningen medför. Solkraftsreferensen är viktig för att kunna ge ett bra och komplett underlag främst till de ekonomiska analyserna och jämförelsen av olika affärsupplägg för lantbrukare.

3.2.1 Solsambruksanläggningen

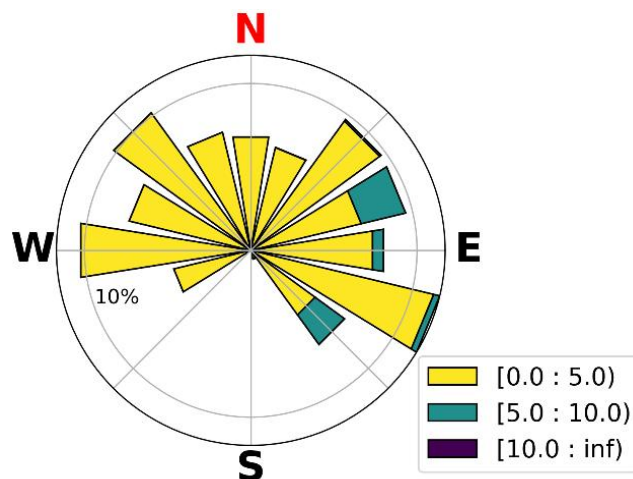
Utifrån förutsättningar på platsen med både nordliga förhållanden (låga temperaturer, snö och instrålning) har vi kommit fram till att en vertikal anläggning sannolikt är att föredra framför både upphöjda system och rörliga solföljarsystem. För upphöjda system är investeringskostnaden hög och det finns risk för nedfallande snö och is vilket skulle kunna utgöra en säkerhetsrisk under delar av året. Rörliga system har god potential både för att anpassa sig till odlingsaktiviteterna och för att generera ett högt energiutbyte (mer energi per installerad effekt), men erfarenheter visar att de ofta operativt inte fungerar så bra i kombination med låga temperaturer, snö och is. Vertikala system kan dock kombinera flera egenskaper som gör att de sannolikt är bäst lämpade för odlingsrelaterade solsambruk i nordliga förhållanden. Vi föreslår en anläggning med sju rader med solcellspaneler. Varje rad är ca 45 m lång för att kunna studera och eliminera kanteffekter och avståndet mellan raderna är 13 m. En skyddszon på 0,5 m på varje sida om solcellraderna gör att den odlingsbara bredden mellan raderna blir 12 m och marktäckningsgraden blir $1/13 = 7,7\%$. Solcellsrader har två solcellspaneler på höjden i liggande så kallad "landskapsorientering" vilket gör att kvoten solcellsyta per markyta blir $2/13 = 15,4\%$. Hur man räknar marktäckningsgrad kan variera i olika länder. Markfrigången sätts till 0,75 m om det är möjligt rent praktiskt; eftersom det maximala snödjupet på mark historiskt oftast har varit mellan 0,3 och 0,9 m (se Figur 6) vore det önskvärt om man kan landa i den övre delen av spannet. Vi föreslår ett montagesystem från Next2Sun med kristallina dubbelsidiga kisel-solcellspaneler och galvaniserade stålstolpar som pålas ner i marken. Dessa system är utformade för solsambruksanläggningar och har rekommenderats av forskarkollegor i jämförelse med andra (ofta billigare system), se avsnitt 2.3.3.

Det finns saker att ta hänsyn till när det gäller orienteringen av en vertikal solcellsanläggning. Man vill gärna förhålla sig till skiftets riktning, få ett högt specifikt energiutbyte (kWh/kWp), ha en bra elproduktion under höst och vår och en produktionsprofil över dagen som matchar höga elpriser. Därutöver är det helt essentiellt att odlingen fungerar med så små negativa konsekvenser som möjligt och helst att man kan nyttja ett positivt mikroklimat. Under odlingssäsong vill man ha ett stort ljusinsläpp till grödorna och få ett vindskydd för odlingsraderna. Det senare är mest effektivt om vinden blåser tvärs panelerna. Vintertid i samband med snöfall vill man sannolikt undvika vind tvärs panelraderna eftersom snö då kan tänkas deponeras i raderna och leda till problem senare under året. Enligt uppmätta data vintern 2020–2021 (se Figur 7) är risken för detta störst vid östliga vindar och minst vid sydliga. Ur ett elproduktionsperspektiv (utan hänsyn taget till skugga) är skillnaden mellan en nord/syd- och en öst/väst-orientering liten (Sundström m. fl. 2023), men man riskerar att få skarp och kraftig

skugga bakom nord/syd riktade vertikala paneler (Honningdalsnes m. fl. 2025) och dygnsproduktionsprofilen kommer matcha det förväntade elpriset bättre med en öst/väst-orientering.



Figur 6. Statistik över årligt maximalt snödjup på mark fram till år 2022 på SMHI:s mätstation i Piteå, med två anpassade statistiska distributioner.



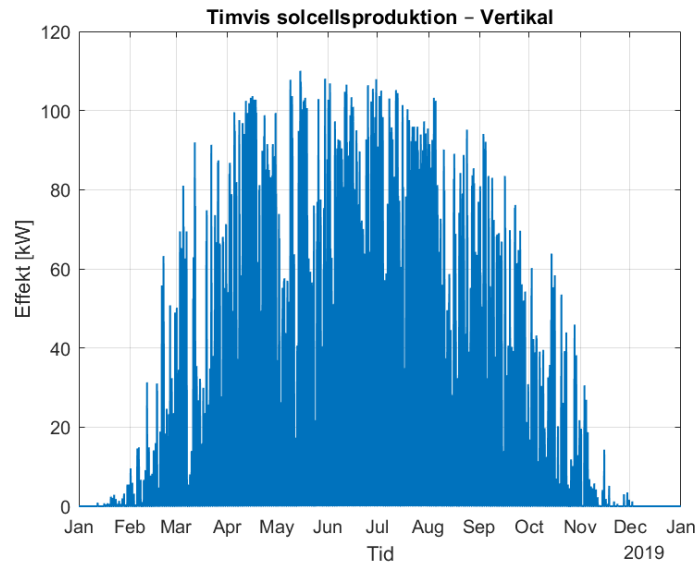
Figur 7. En vindros med vindriktningar för Piteå under vinterperioden 2020-12-23 till 2021-04-22 där ett nederbördsfilter som tar bort vinddata från tidpunkter när det inte snöar lagts på. Färgerna på staplarna indikerar vindhastighet i m/s. Data från RISE.

Mot denna bakgrund föreslår vi att solcellsraderna förläggs i rakt nord-sydlig riktning, vilket är negativt utifrån skiftenas riktning på Öjebyn Agro Park, men positivt i de andra avseenden.

Radbreddens betydelse är stor i framför allt två olika avseenden.

1. 13 m radavstånd är stort nog för att radskuggningsförlusterna för elproduktionen ska vara små och mycket solinstrålning ska träffa marken även när solen inte står rakt i söder.
2. 12 m effektiv odlingsbredd är förmånligt ur ett maskinkörningsperspektiv då det är brett nog för att de allra flesta redskap ska kunna användas (även en spruta som kan vara 12 m bred) och det är ett tal som går att dividera med många andra redskapsbredder vilket gör att man kan undvika extra maskinkörning med överlappande drag när det inte krävs (Bellone m. fl. 2026). För de grödor som planeras i

solsambruksanläggningen (se avsnitt 3.2.2) är det bara ett redskap som inte jämnt matchar radbredden 12 m, men det redskapet körs ändå med överlapp mellan dragen och det spelar således liten roll.

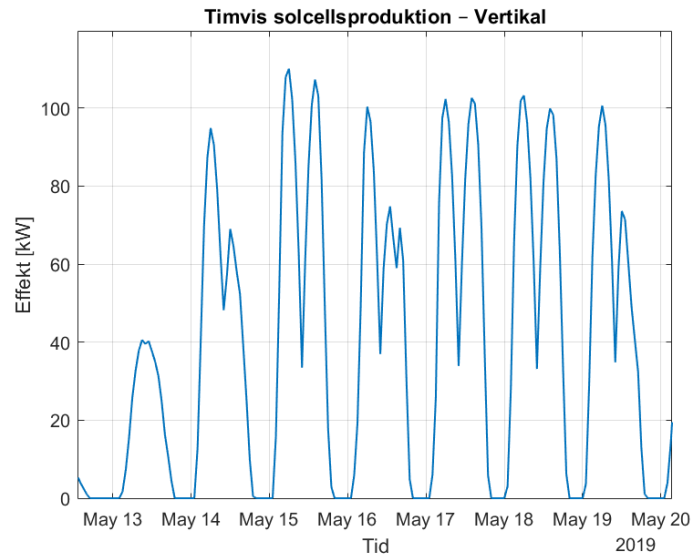


Figur 8. Timvis solelproduktion för en vertikal öst/västriktad dubbelsidig solcellsanläggning i Öjebyn för helåret 2019. Data från www.renewables.ninja (Pfenninger & Staffel 2016).

Solkraftsanläggningen bör styras med moduloptimerare (till exempel SolarEdge) för att ha individuell kontroll och kunna följa upp olika delar av systemet och raderna och på så vis kunna hantera eventuella problem som kan uppstå i driften. Förhoppningsvis kan man hitta en teknisk lösning för att dessa ska passa med montagesystemet. Varje rad kopplas helst upp emot en egen växelriktare (som matchar optimerarna) vilket sprider riskerna och möjliggör för att särskilja prestanda mellan olika delar av anläggningen. Dimensioneringen bör göras så att man vid inga tillfällen kapar effekttoppar eftersom detta kan försvåra prestandaanalysen.

En solcellsanläggning med sju 45 m långa rader med två solcellspaneler liggande på varandra kan förväntas ha en total installerad effekt på ca 160 kWp. Med 13 m radavstånd upptar den en markyta på cirka en halv hektar. En förenklad timvis simulering med verktyget [renewables.ninja](http://www.renewables.ninja) (Pfenninger & Staffel 2016) av dess förväntade produktion för helåret 2019 (om anläggningen funnits då) presenteras i Figur 8 i vilken man tydligt kan se hur produktionen är fördelad över året och nästan är obefintlig under perioden december till januari.

Det specifika energiutbytet för år 2019 enligt denna simulering och konfiguration var 982 kWh/kWp (notera att vi i den ekonomiska kalkylen i avsnitt 3.2.5 valt en mer restriktiv siffra). I Figur 9 visas en vecka av timproduktionen för samma simulering. Här syns tydligt produktionsprofilen per dygn som är högst under morgon och kväll och sjunker mitt på dagen, då elpriserna typiskt också är lägre.



Figur 9. Timvis solelproduktion för en vertikal öst/västriktrad dubbelsidig solcellsanläggning i Öjebyn mitten av maj 2019. Data från www.renewables.ninja (Pfenninger & Staffel 2016).

3.2.2 Föreslagen växtföljd och val av grödor

För att hålla hög nutida relevans begränsas studierna till grödor och sorter som är lämpade för odling i norrbottniska förhållanden och som kan odlas med den utrustning och kunskap som finns idag. På samma sätt kommer man sannolikt använda befintlig maskinpark under lång tid framöver varför också denna behöver tas i beaktande. Enkelhet bör vara ett ledord och man bör även kunna mäta skördemängd och -kvalitet på ett enkelt sätt. Till exempel kan skörden av vall vara besvärlig att analysera då vi måste hantera torrs substansen (den vattenfria delen av skörden) vilket dock inte faller med exempelvis morötter och potatis som endast vägs.

Spannmål som korn, havre och vete går också bra att väga på ett enkelt sätt, samt att ta ut prover för bestämning av vattenhalt. Årsvariationer är också en verklighet som man behöver förhålla sig till. I en flerårig kultur som vall, kan det vara svårt att se vad som är anledningen till att grödan exempelvis har dött under vintern. Var det en allmänt jobbig vinter eller var det effekter av solpanelernas närvaro som inverkat negativt på övervintringen? Visserligen är vall den vanligaste grödan i både Sverige och Norrbotten, men den är också en gröda som innebär svårigheter och som kan leda till problem att hitta kausala samband utan att blanda in avancerad statistik. Ettåriga kulturer skulle mot denna bakgrund vara önskvärt och skulle kunna vara spannmål (korn, havre, vårvete), rotfrukter (potatis och morötter) eller baljväxter (bönor, linser och ärter).

Ett sätt att hantera en årsvariation är att utvärdera grödor under flera år. Det är dyrare men försöksmässigt betydligt bättre att odla samtliga grödor samtliga år. Det låter sig göras genom att rotera grödorna mellan de olika raderna som om de vore separata skiften. Det innebär att markförhållanden är något olika mellan åren för en gröda, men man kan å andra sidan både titta på hur växtföljden presterar och komma runt problemet med årsvariationer, se Figur 10.

Man kan tänka sig flera olika växtföljder som passar olika typer av lantbruk. En möjlighet skulle kunna vara att kombinera olika grödor som passar en mjölkgård och en annan att optimera den för humankonsumtion eller hög avkastning. Ur ett resiliensperspektiv vill man titta på grödor med flera funktioner och de bör vara lagringsbara. För att få så mycket som möjligt ut av forskningsprojektet föreslår vi därför en sexårig växtföljd med fem olika grödor som är både realistiska utifrån de befintliga lantbruksinriktningarna i Norrbotten och som också kan ge

mervärde och kunskap för framtida anpassningar av lantbruket. För varje år flyttar grödorna ett skifte i rotationen och efter sex år är de tillbaka på samma skifte där de började studien. För att undersöka möjligheterna till produktion av norrbottnisk mat finns potatis och rybs med (rybs kan även nyttjas till drivmedel och foder (MarginUp!, 2026)). Därutöver finns vete, korn och två skiften med vall. Vete kan nyttjas både som komplementfoder till djur och för humankonsumtion. Vall och korn är basen i växtodlingen bland lantbruken i Norrbotten och är därför viktiga utvärdera i växtföljden. Rybs och potatis är näringskrävande "tärare" som mår bra av att odlas efter vall och spannmål (Jordbruksverket, 2013, Bernes & Gustavsson 2016). Rybsen sås direkt i stubben efter vetet utan att marken behöver plöjas. Vallen sås in tillsammans med kornet som skyddsgröda så att vallen etablerar sig till året efter.

Solsambruk				Odlingsreferens	
m	5	45	10	45	5
12		Skydd		Skydd	
1		Solpaneler			
12		Vårvete	Buffert	Vårvete	
1		Solpaneler			
12		Vårrybs	Buffert	Vårrybs	
1		Solpaneler			
12		Potatis	Buffert	Potatis	
1		Solpaneler			
12		Korn m. insådd	Buffert	Korn m. insådd	
1		Solpaneler			
12		Vall I	Buffert	Vall I	
1		Solpaneler			
12		Vall II	Buffert	Vall II	
1		Solpaneler			
12		Skydd		Skydd	

Figur 10. Fördelningen av olika grödor i solsambbruksanläggningen under första året. Gråa fält motsvarar de vertikala solcellspanelerna vilka omges med lokal ängsvegetation (rödrutig fält). Skydds- och buffertzoner planeras runtomkring solsambbruks- och referensytorna. Figuren är inte skalenlig och deras mått syns i den första raden respektive kolumnen.

På utsidan av solsambbruksområdet brukas marken med vall eller annan gröda som minimerar effekterna av kanterna. I skyddszonen som sträcker sig 0,5 m ut från varje solpanelsrad och i dess förlängning planteras en lågväxande ängsblandning med lokala och hårdiga arter. Dessa remsor fungerar också som biodiversitetremsor och avgränsare i solsambbruksanläggningens förlängning (som blir referensytan för odling, vilket beskrivs med under avsnitt 3.2.3).

3.2.3 Referensyta för odling

För att ha så lika förutsättningar som möjligt i studien och jämförelsen mellan solsambbruksområde och odlingsreferens, och samtidigt effektivisera och förenkla bruket, planeras dessa två ytor tillsammans. Odlingsreferensytorna förläggs alltså söder om solsambbruksanläggningen och i dess direkta förlängning. Skillnaderna i markegenskaper bedöms vara små men kommer att följas för att man ska kunna se eventuell påverkan. På så sätt bildas avlånga skiften som liknar tegar och där förhållanden förändras i tegens längdriktning. För att undvika att solsambbruksområdet påverkar referensytorna planeras dessa söder om anläggningen där de inte kan skuggas av densamma. En buffertzon på minst 10 m upprättas mellan solcellsraderna och referensytans början så att vindtunneleffekter inte ska påverka skörden och mikroklimatet.

Utifrån den utformning som föreslås och de mått som anges i Figur 10 får man att solsambbruksområde och odlingsreferensområde, inklusive skydds- och buffertzoner kommer uppta en yta om ca 1,1 ha. Om man tar i beaktande hur området orienteras i förhållande till skiftet i vilket klargörs i Figur 5 inser man att det faktiska markanspråket för denna testanläggning skulle kunna anses vara ungefär det dubbla givet att det kan bli väsentligt svårare att nyttja marken runtomkring i de "döda trianglarna". Odlingsreferensen måste dock inte vara 45 m lång utan kan kortas av något utan att man förväntar sig några större effekter.

3.2.4 Referensanläggning för solelproduktion

För att ha en bra uppfattning om vad en modern och välanpassad solkraftspark kan leverera i Norrbotten och göra likvärdiga jämförelser med elproduktionen från solsambbruksanläggningen behövs också en referens för renodlad solelproduktion. Vi vet från erfarenhet att det är svårt att göra jämförelser parker som har olika ålder, olika solcellsteknologi, olika lokalisering och så vidare. De prestandadata som både solsambbruksanläggning och solkraftsreferens levererar utgör essentiella bidrag till de lönsamhetsberäkningar och affärsmodeller som kan utforskas för kommande implementering i Norrbotten. Man skulle kunna hävda att en enstaka solcellspanel eller en referenscell (instrålningssensor) monterad söderriktad och med 30 graders lutning skulle kunna ge samma information. Då missar man dock effekter av snöskuggning, skillnader och jämförelse av underhållsbehov, driftkostnader, och andra saker som har med verklig drift att göra, och vår bedömning är därför att en riktig referensanläggning behövs.

Vi föreslår att solkraftsreferensanläggningen utformas som tre rader med söderriktade dubbelsidiga solcellspaneler med 30 graders lutning eller mer. Fälten med solcellspaneler på solcellsraderna består då av två paneler på höjden i porträttorientering och är 20 m långa vilket bör ge en installerad effekt på ca 60 kWp. Radavståndet skulle kunna vara nio meter och höjden i nederkant på panelerna bör vara ca 0,9 m för att inte nedrasande snö ska byggas upp och leda till lokala snölastproblem (Edebo, 2023).

Innan solkraftsreferensen byggs kan den i samråd med utvecklare optimeras i termer av lutning och radavstånd, vilket inte rymts inom ramen för denna förstudie. Man bör då också ta hänsyn till vilket montagematerial som är lämpligt och tillgängligt. I solkraftsreferensområdet kan man så in hårdig lokal ängsvegetation som i solsambbruksanläggningens skyddsradar.

En förenklad årssimulering över timvis elproduktion från en anläggning enligt ovan och med i övrigt samma förutsättningar som för de i avsnitt 3.2.1, ger ett årligt specifikt energiutbyte på 1002 kWh/kWp vilket bara är två procent mer än för den vertikala solsambbruksanläggningen. Dessa värden härstammar från förenklade simuleringar och försummade förluster som kommer uppstå i realiteten (för båda anläggningar) men kan ändå ge en indikation om att solsambbruksanläggningar kan ha ett bra specifikt energiutbyte. Liksom för solsambbruksanläggningen har vi i den ekonomiska kalkylen i avsnitt 3.2.5 valt en mer restriktiv siffra.

3.2.5 Förenklad ekonomisk bedömning

Inom jordbrukssektorn råder generellt ett pressat ekonomiskt läge. En förväntan, och inte sällan ett krav, från de stora aktörerna (till exempel Ica, Coop och Axfood) på låga konsumentpriser pressar producenterna hårt. En hög grödavgkastning per brukad ytenhet är därför nödvändigt för att få en tillräckligt bra lönsamhet. Fasta kostnader som ska fördelas per kg skörd kräver också hög skörd per ytenhet. Samma logik gäller för arbetsinsatsen eftersom personalkostnader är en tung post i produktionen.

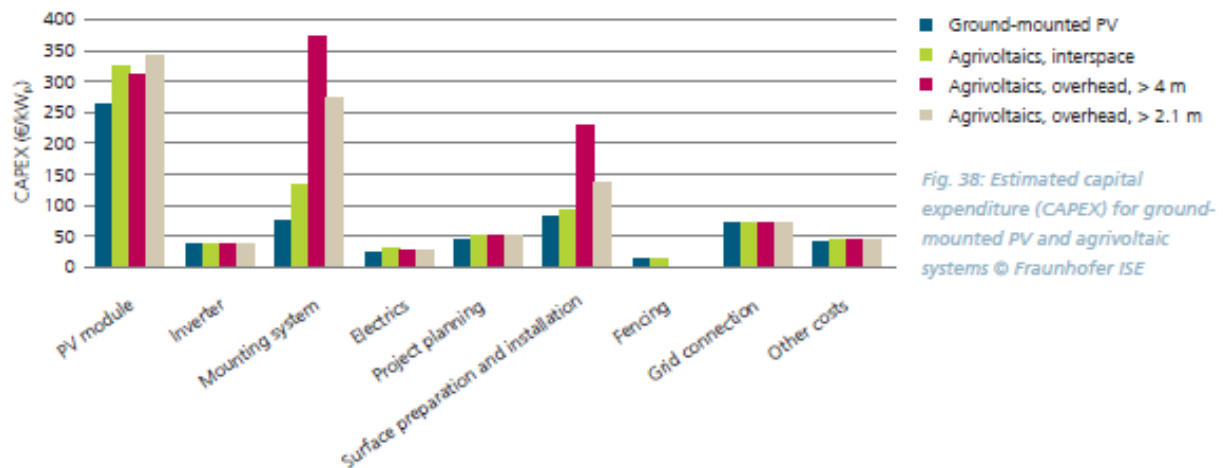
Ovanstående gäller normalfallet med bulkproduktion, vilket är den dominerande delen av det som produceras, och det är också det som majoriteten av konsumentledet efterfrågar. I vissa fall kan producenten ta ut ett mervärde på produkten. Det kan vara till exempel lokalproducerat, ekologiskt, rättvisemärkt och liknande. Framgång på detta område förutsätter att det finns en marknad för dessa produkter, det vill säga *tillräckligt många konsumenter* som vill betala några extra kronor för samma mängd vara.

Spontant kan man i norra Sverige förvänta sig något lägre skördar per hektar när odling ska samexistera med elproduktion. Frågan är dock om man kan hoppas på ett mervärde för att grödorna odlas i ett nytt och långsiktigt hållbart sammanhang? Är det den samlade ekonomin för odling och elproduktion som kommer vara dimensionerande? Både elmarknaden och jordbruksmarknaden är helt styrda av tillgång och efterfrågan på en marknad som ofta är internationell. Spannmålskurserna påverkas till exempel kraftigt av hur börserna i Paris och Chicago reagerar, och Rysslands och Ukrainas närvaro eller frånvaro på marknaden påverkar också prisbilden påtagligt, till och med i Öjebyn. Inte minst den senaste vintern har visat hur mycket elmarknaden kan fluktuerar. Svängningar på elmarknaden har inte stor påverkan på råvarupriset (för exempelvis vete) men syns på priset för förädlade varor som exempelvis bröd. Det är alltså en utmaning att skapa sig en bild av lönsamheten i ett solsambruk. Ser vi enbart till odlingsdelen i ett sambruk finns möjligheter att kommunicera ett mervärde på den lokala marknaden för grönsaker ("Samproducerat i Piteå älvdal!"), medan det för bulkvaror som spannmål inte är troligt att ett mervärde kan tas ut för att det är lokalt samproducerat.

I denna förenklade ekonomiska bedömning har vi inte inkluderat ökade driftkostnader för jordbruket och för soleanläggningen som följd av sambruket. Dessa faktorer är svåra att bedöma men kan exempelvis handla om ökade läglighetskostnader, ökad försäkringspremie, högre maskinkostnader, ökat underhållsbehov och kostnad för skötsel av biodiversitetsremisor under panelraderna. Vi har inte heller anpassat grödavgastningen per odlad yta men däremot tagit höjd för att delar av markytan inte längre kan odlas.

Investeringskostnader

Investeringskostnader för solsambruksanläggningar skiljer sig beroende på val av monteringslösning, se Figur 11. De som visas nedan är vertikal montering med odling mellan rader (Agrivoltaics, interspace), överliggande med höjd över 4 meter (Agrivoltaics, overhead, >4 m), överhängande med höjd över 2,1 meter (Agrivoltaics, overhead, >2,1 m) samt referensfall med markmonterade solcellsanläggningar (Ground-mounted PV). Vad som också kan ses i figuren är en signifikant skillnad i investeringskostnader när det kommer till markberedning och montagesystem för de två solsambruksanläggningarna som är av den överhängande kategorin. I övrigt är de samtliga fyra installationsförfarandena relativt lika varandra i total investeringskostnad. Beräknat utifrån Figur 11, blir den sammanlagda investeringskostnaden (CAPEX) enligt Tabell 6. Uppgifterna är några år gamla och priserna gällde Tyskland. Man kan därför vänta sig skillnader mot idag där modulpriserna är lägre, stålpriserna förändrats, marknaden är annorlunda och skillnader i anläggningens storlek ger en annan kostnadsbild. De visas här för att tydliggöra skillnader mellan olika sorters system snarare än att vara siffror vi kan använda rakt av.



Figur 11. Investeringskostnader (CAPEX) för olika solsambbruksanläggningar i Europa (€/kWp). Figur från (Fraunhofer ISE 2024)

Tabell 6. CAPEX för solcellsanläggningar samt solsambbruksanläggningar för att visa hur dessa kan skilja sig från varandra beroende på typ av system. (Fraunhofer ISE 2024)

Solsambbruksanläggning	CAPEX kr/MW
Markmonterad solcellsanläggning	6 772 500
Solsambbruksanläggning, odling mellan rader	8 295 000
Solsambbruksanläggning, överhängande montering >4 meter	11 970 000
Solsambbruksanläggning, överhängande montering >2,1 meter	10 395 000

Fallstudier och antaganden

I detta avsnitt görs en förenklad ekonomisk kalkyl för fyra fall som genom interna samtal bestämts kan vara relevanta att undersöka för att räkna på vilka ekonomiska utfall som en solsambbruksanläggning kan innebära, se Tabell 7. Observera att dessa fall baseras på en rad antaganden, som kan ses i Tabell 8. Utfallet av den ekonomiska bedömningen presenteras i Tabell 11.

Tabell 7. Fallstudier som används för att räkna olika ekonomiska utfall.

Fall	Beskrivning
Solsambbruksanläggning: Vertikalmonterade 7 rader med 6 rader odling, egen investering och egenanvändning 30 %	Vertikalmonterad solsambbruksanläggning med 7 rader, totalt cirka 320 panel med installerad effekt på 160 kW och jordbruk utförs enligt den växtföljd som beskrivs under avsnitt 3.2.2. Intäkter för producerad el tillfaller markägaren. Driftkostnader för jordbruk och solcellsanläggning. Investeringskostnad för solcellsanläggning beräknas till 1,12 Mkr. Egenanvändning uppskattas till 30 procent av totala elproduktionen.
Solsambbruksanläggning: Vertikalmonterade 7 rader med 6 rader odling, arrenderat till extern aktör	Vertikalmonterad solsambbruksanläggning med 7 rader, totalt cirka 320 panel med installerad effekt på 160 kW. Investeringskostnad 0 kr, då marken för elproduktion arrenderas ut till extern aktör för 7 000 kr per hektar och år, intäkter för producerad el tillfaller den externa aktören och jordbruk utförs enligt den växtföljd som beskrivs under avsnitt 3.2.2. Driftkostnader endast för jordbruk. Ingen egenanvändning, då producerad el inte tillfaller markägaren.
Referensyta: Jordbruk	Ingen solelproduktion, endast odling enligt den växtföljd som beskrivs under avsnitt 3.2.2. Jordbruksstöd ingår i beräkningarna.
Referensyta: Solelproduktion, egenanvändning 10 %	Inget jordbruk, utan endast solelproduktion på en hektar med paneler monterade i söderläge och med 30° lutning. Uppskattningsvis 900 paneler på 10 rader, 9 meter radavstånd, total installerad effekt cirka 450 kW. Egenanvändning av producerad el uppgår till 10 procent. Driftkostnader endast för solcellsanläggning och investeringskostnaden beräknas till 3,15 Mkr.

Fallen med referensytorna har i sig inget med konceptet solsambbruk att göra, utan finns endast där för att demonstrera lönsamhet av en likvärdig yta och vad som händer med den ekonomiska kalkylen om man maximerar den ena av de två studerade fallen, jordbruk eller solcellproduktion. På så sätt kan vi visa om den kombinerade lösningen med solsambbruk är bättre eller sämre än om vi bara brukar jorden eller om vi bara producerar el. För att göra en enklare ekonomisk kalkyl för de olika fallen i Tabell 7 har vi gjort ett antal antaganden och listat dessa i Tabell 8. Produktionsbortfall för jordbruket bygger på den yta som solcellsraderna upptar inklusive skyddszon.

Tabell 8. Antaganden för ekonomiska kalkyler.

Antagande	Värde	Enhet
Ränta	4	%
Produktionsbortfall jordbruk vid solsambbruk (%)	8,6	%
Elproduktion solceller, vertikalmonterade	850	kWh/kWp
Elproduktion solceller, markmonterade med lutning 30°	900	kWh/kWp
CAPEX (både solsambbruk och referensanläggning)	7	Mkr/MWp
Teknisk livslängd	25	år
Jordbruksstöd vid solsambbruk	0	kr/år
Jordbruksstöd utan solsambbruk	5 400	kr/år
Markyta för varje case	1	ha

Kostnader och intäkter från jordbruk är starkt kontextberoende och beror på saker som hur marken är beskaffad, val av gröda, vilken grad av förädling man når, vilken marknad varan säljs på och så liknande. I vissa fall kan priserna sättas globalt och förändras kraftigt i samband med geopolitiska händelser. För att få en uppfattning om lönsamheten för den tilltänkta forsknings- och demonstrationsanläggningen på Öjebyn Agro Park har vi ansatt driftkostnader och intäkter enligt Tabell 9 och Tabell 10. Totala kostnader för drift samt totala intäkter är beräknat för en hektar med den föreslagna odlingsföljden.

Tabell 9. Driftkostnader för odling utifrån dialog med Hushållningssällskapet, med odlingsföljd enligt beskrivning i avsnitt 3.2.2.

	Driftkostnad jordbruk (kr/ha)	kr/odlingsrad
Rybs	3 500	583
Potatis	82 500	13 750
Vall	9 000	1 500
Vårvete	5 250	875
Korn	5 150	858
Totalkostnad drift odlingsföljd	19 067	

Tabell 10. Jordbruksintäkter utifrån dialog med Hushållningssällskapet, med odlingsföljd enligt beskrivning i avsnitt 3.2.2.

	Jordbruksintäkter (kr/ha/år)	kr/odlingsrad
Rybs	7 500	1 250
Potatis	87 500	14 583
Vall	12 000	2 000
Vårvete	6 750	1 125
Korn	6 650	1 108
Totala intäkter odlingsföljd	22 067	

Ekonomiska kalkyler

I Tabell 11 visas resultat från ett antal ekonomiska beräkningar, utifrån fallstudier som presenterades i Tabell 7 samt med antaganden från Tabell 8 tillsammans med kostnader och intäkter för jordbruk i fallstudier som involverar jordbruk, se Tabell 9 och Tabell 10.

Investeringskostnader (CAPEX) ingår endast i fallstudierna där investering sker av markägaren själv, där extern aktör arrenderar marken för att installera en solcellsanläggning ingår inte CAPEX i kalkylerna. Utifrån detta fås olika resultat fram, Nettointäkt (Mkr/år), Diskonterad återbetalningstid, Nettonuvärde samt Levelized Cost of Energy (LCOE). Nettonuvärde beskriver det totala penningvärdet anläggningen efter given tidsperiod, med hänsyn till investeringskostnader samt pengars förändrade värde över tid. I LCOE ingår inte kostnader eller intäkter för jordbruk, här är endast kostnader för investeringen av anläggningen och driftkostnader inkluderade. Dessa delas med den totala elproduktionen som sker under den givna tidsperioden, det vill säga den tekniska livslängden.

Tabell 11. Resultat från förenklade ekonomiska kalkyler. CAPEX för de ekonomiska beräkningarna utgår från resultatet i Tabell 6.

Parameter	Solsambruksanläggning: Vertikalmonterade 7 rader med 6 rader odling, egen investering och 30 % egenanvändning	Solsambruksanläggning: Vertikalmonterade 7 rader med 6 rader odling, arrenderat till extern aktör	Referensyta, jordbruk	Referensyta, solelproduktion, 10 % egenanvändning
Tekniska data				
Installerad effekt (MWp)	0,16	0,16	-	0,45
Årsproduktion (GWh)	0,14	0,14	-	0,41
Elpris (kr/kWh)	0,65	0,65	-	0,65
Intäkter				
Elintäkter (Mkr/år)	0,10	-	-	0,28
Jordbruksintäkter genomsnitt (kr/ha/år)	22 067	22 067	22 067	-
Arrende (kr/ha/år)	-	7 000	-	-
Total intäkt (Mkr/år)	0,12	0,03	0,02	0,28
OPEX				
Drift & underhåll (Mkr/år)	0,03	-	-	0,08
Driftkostnader jordbruk (Mkr/år)	0,02	0,02	0,02	-
Total OPEX	0,05	0,02	0,02	0,08
Ekonomiska data				
Investering CAPEX (Mkr)	1,12	-	-	3,15
Räntekostnader (Mkr/år)	0,03	-	-	0,07
Resultat				
Nettointäkt (Mkr/år)	0,05	0,01	0,01	0,13
Återbetalningstid (år)	22	-	-	25
Nettonuvärde (Mkr)	0,12	0,19	0,21	-0,01
LCOE (kr/kWh)	0,73	-	-	0,69

I Tabell 11 ser vi en ekonomisk kalkyl som är mindre fördelaktig när det kommer till investering av en solsambbruksanläggning jämfört med en referensyta med endast jordbruk. Nettonuvärdet är lägre med cirka 210 000 jämfört med 120 000 kr för samma givna areal. Något bättre är dock kalkylen för att arrendera ut marken till en extern aktör och fortsatt bedriva jordbruk mellan raderna, som får ett nettonuvärde motsvarande 190 000 kr. Detta förutsätter dock de antagna ekonomiska variablerna, så som ränta, investeringskostnad egenanvändning av el, elpris samt total elproduktion vilka samtliga är behäftade med osäkerheter av varierande grad. Även arrendet är osäkert och påverkar kalkylen. Ur känslighetsanalysen (se Tabell 12) ser vi att elproduktion och elpris har en signifikant effekt för utfallet av den ekonomiska bärigheten, där en justering på ± 10 procent förändrar kalkylen med cirka 20 procent. I detta sammanhang bör man beakta att elpriset inte bara kan skilja sig mellan olika säsonger och år, utan också att olika anläggningar genererar el vid olika tider på dygnet så att värdet av en genererad kWh på en spotprismarknad kan vara mycket olika. För vertikala öst-/västriktade solcellspaneler i en solsambbruksanläggning innebär det sannolikt att vi här gjort en konservativ bedömning.

Sammantaget bedöms solsambbruk kunna vara en ekonomiskt hållbar modell i Norrbotten, då investeringen kan täckas med odlingsintäkter. Detta gäller särskilt när flera aktörer kan samverka för att dela kostnader, minska investeringsrisker och öka nyttjandet av den producerade elen. Det förutsätter dock att det finns goda marginaler i de ekonomiska kalkylerna, då små förändringar kan få en lönsam anläggning till att bli en olönsam sådan. Man bör i stället se en investering i en solsambbruksanläggning som en möjlighet att tillhandahålla lokal elproduktion i kombination med ett fungerande jordbruk, där fokus inte ligger på att tjäna pengar utan snarare vad en solsambbruksanläggning kan bidra med, för självförsörjning men också biologisk och social hållbarhet.

Den långsiktiga ekonomiska bärkraftigheten skulle kunna stärkas ytterligare genom att anläggningen kombineras med energilagring, flexibel elanvändning eller lokala energigemenskaper som kan optimera användningen av den producerade solen. En investering i energilagring behöver dock analyseras i ytterligare eftersom det innebär en betydande investeringskostnad som beroende på förutsättningar inte alltid är lönsam i ett längre perspektiv.

Känslighetsanalys

Flera av de ekonomiska variablerna bär relativt stora osäkerheter och med det följer vissa risker. Vid en ekonomisk kalkyl är det viktigt att förstå hur mycket de olika variablerna påverkar slutresultatet, då en missbedömning av en signifikant variabel kan ha en betydande effekt på huruvida en investering är lönsam eller inte. Utifrån förändringar av variabler som kan ses i Tabell 12 med ± 10 procent så kan vi se hur mycket respektive variabel påverkar slutresultatet för en investering i en egen solsambbruksanläggning.

Tabell 12. Känslighetsanalys för ekonomisk kalkyl.

Variabel	10 % variation, effekt på nettointäkt
Elproduktion	± 21 %
Elpris	± 18 %
Arrende/egen mark	± 9 %
Jordbruksintäkter/-kostnader	± 4 %
Stöd/ersättningar	± 6 %
Investeringskostnader (CAPEX)	± 11 %
Finansiering / ränta	± 6 %

Från Tabell 12 ser vi att de variabler som mest påverkar den ekonomiska lönsamheten av en solsambruksanläggning så är "Elproduktion", "Elpris", "Arrende/Egen mark" och "CAPEX" de mest dominerande. Det betyder att dessa bör tas störst hänsyn till när man vill få en så träffsäker ekonomisk kalkyl som möjligt. Den ekonomiska bärkraftigheten påverkas alltså i hög grad av anläggningens totala elproduktion, egenanvändningen av producerad el samt elpriset. Norrbotten kännetecknas av en pågående industriell omställning med ökande efterfrågan på el från verksamheter inom industri, elektrifiering och energilagring. Detta kan på sikt bidra till högre elpriser inom elområde 1 (SE1) och skapa gynnsamma förutsättningar för lokal solelproduktion. Samtidigt behöver hänsyn tas till framtida utveckling av elpriser, nätavgifter och regelverk, eftersom dessa faktorer påverkar projektets lönsamhet.

3.3 Föreslagna studier och uppföljning

Ett vanligt mått för att utvärdera ett solsambrukssystem är markekvivalenskvot (Land equivalent ratio, LER) som anger hur mycket mark som hade använts för att producera samma mängd jordbruksprodukter och samma energimängd från två separata anläggningar. Medan LER fungerar som en initial grov bedömning och har ett starkt och tydligt signalvärde när resultaten ska kommuniceras, är begreppet dock behäftat med ett antal svagheter. Det innebär att man inte tar hänsyn till kvalitet på skörden, att jordbruksprodukter och elproduktion viktas lika oavsett om det är rimligt eller inte, att det ofta saknas riktiga eller relevanta referenser från samma plats och tid, att det är svårt att inkorporera en växtföljd eftersom dynamik och tidsskala ignoreras, och så vidare. Inte minst så saknas de ekonomiska och ekologiska perspektiven – vad är kostnaderna för att samlokalisera produktionen? För att komplettera LER kan man göra djupdykande jämförelser mellan olika välplanerade referenser (både för odling och solelproduktion) och utreda energiprestanda, påverkan på skörden och dess utsikter i ett förändrat klimat, ekonomisk lönsamhet och undersöka ett flertal olika hållbarhetsaspekter inklusive social acceptans och engagemang, biodiversitetutveckling i jordbrukslandskapet och liknande. En mer detaljerad beskrivning av möjliga studier presenteras i kommande avsnitt 3.3.1 till 3.3.6.

3.3.1 Solelproduktion

Utifrån den förenklade ekonomiska analysen i avsnitt 3.2.5 har vi konstaterat att det finns osäkerheter gällande lönsamheten som starkt kopplar till hur en solsambruksanläggning fungerar. En del faktorer behöver undersökas för att man ska kunna göra rimliga antaganden om dem i en ekonomisk kalkyl. Det gäller till exempel nedsmutsning av paneler till följd av jordbruksaktiviteter, om drift och underhållsbehov för soleanläggningen ökar eller förändras för att man behöver ta hänsyn till odlingen som pågår, hur betydelsen av solcellsanläggningens mekaniska tålighet påverkar anläggningens prestanda och eventuell degradering av solcellspanelernas effektivitet över tid. Därutöver tillkommer plats- och förutsättningsspecifik prestandaanalys av elproduktionen vilket behöver ta hänsyn till reflektioner från omgivningen och mark som förändras över säsongen i ett odlingslandskap, samt effekter av eventuell snöskuggning och jordbruksaktiviteter. Förståelse för dessa egenskaper är kritiskt för att man ska kunna göra bra ekonomiska kalkyler av hela solsambrukssystemet i senare skede. För att kunna följa dem behövs noggrann mätning av väder och ljusförhållande på platsen, men också noggranna uppföljningsmöjligheter för själva elproduktionen på både solsambruksanläggningen och referensanläggningen för solelproduktion.

Forskningsanläggningens solcellsanläggning bör därför byggas med moduloptimerare som möjliggör att vi kan följa varje enskild solcellspanels prestanda och dessa ska kopplas till en växelriktare per rad för att kunna isolera fel och undvika stora dataförluster i händelse att det

inträffar. Anläggningen behöver också utrustas med dedikerade sensorer för att mäta instrålningen i solcellspanelernas plan (både fram och baksida) på olika positioner längs raderna, samt temperaturgivare som mäter solcellernas temperatur. Dessa kan med fördel kopplas till den eller de dataloggrar som finns för att följa mikroklimat, instrålning och miljödata (avsnitt 3.3.3) och på så vis kan datamängderna hållas synkroniserade och enkelt hanteras för vidare analys.

Referensanläggningen för solelproduktion utrustas på motsvarande sätt vilket möjliggör att bättre förstå vilka de olika faktorer som driver skillnader i prestanda i den här miljön är.

3.3.2 Odlingsproduktion

Lämpliga analyser som är av direkt relevans för lantbrukare i Norrbotten är så kallad skördemätning och gradering av de olika grödor som testas. Det innebär att man undersöker vikt, volym, kvalitet, ogräs, och skadeangrepp med utrustning som är lämpad för de olika grödorna. Därutöver bör man undersöka förekomst av svamp och gnagare. Undersökningarna görs för både referensytan och solsambruksytan och resultaten jämförs. I den mån maskiner och dimensioner tillåter det kan det vara befogat att dela upp raderna i olika zoner mellan vilka mikroklimatet gradvis förändras (avstånd från solpanelsraderna). Genom att också dela upp tegarna och följa en längsgående gradient också i buffertzonen mellan solsambruk och odlingsreferens kan man få ökad förståelse för hur långt ut en solcellsanläggning påverkar mikroklimatförhållanden och odlingsbetingelser. Genom att följa anläggningen och växtföljden över flera år kan man ta sig runt särskilda väderhändelser för enstaka år som annars kan leda till felaktiga slutsatser om en grödas möjligheter i ett solsambrukssystem.

För att kunna bygga en mer grundläggande förståelse för hur olika grödor reagerar på den förändrade miljön i ett solsambrukssystem kan man undersöka grödornas stress eller välmående med hjälp av bladfuktsmätare och IR-sensorer. Dessa multigivare kan ge kompletterande information om t. ex. vilken temperatur bladen har och hur länge de är våta, vilket spelar roll för utveckling av sjukdomar eller svamp. Det kan också mäta mikroklimat i form av avdunstning och torkdynamik, marktemperatur och liknande vilket sedan tillsammans med mikroklimatdata kan samköras för att ta fram realistiska och regionalt relevanta grödmodeller.

Vanliga markkarteringsprover tas innan anläggningen byggs i olika delar av solsambruks- och odlingsreferensytorna och sedan regelbunden genom forskningsprojektet innan och efter odlingsperiod. På så sätt kan man följa och vid behov kompensera för markens kemiska sammansättning och utveckling så att den är i en bra balans för projektets ändamål och inte påverkar resultaten på ett missledande sätt.

3.3.3 Mikroklimat, instrålning och miljödata

För att kunna vara en bra bakgrund till mikroklimatdata och andra detaljerade undersökningar är det viktigt att ha tillförlitliga lokala väderdata med hög tidsupplösning. Därför kommer en väderstation installeras som mäter vanliga klimatdata som lufttemperatur, luftfuktighet, lufttryck, vindhastighet, vindriktning samt nederbörd. Man skulle också kunna tänka sig en strålningsbalansmätare som mäter värmestrålningen ner och upp.

Snöansamling mäts genom att manuellt eller via en kamera med time-lapse funktion mäta snödjupet på en fast opåverkad representativ plats. Snöns densitet mäts manuellt med hjälp av ett rör, en dynamometer och snödjupet med jämna mellanrum under snösäsongerna vilket ger en bild av hur mycket vatten som samlas under vintern och vilken effekt det sedan kan få på

markens hydrologi. Vid några tillfällen genomföres en automatiserad snödjupskartering i anläggningen med hjälp av drönbaserad fotogrammetri. Utifrån den kan vi få en bild av hur snön fördelar sig inom parken och koppla detta till eventuella effekter för odling och elproduktion.

Jordtemperaturen är viktig att följa och för ändamålet finns en LoRaWan infrastruktur redan på plats på Öjebyn Agro Park. Givare kan då grävas ner till olika djup och kabellöst sända data till en logger. Ett annat alternativ för marktemperaturmätningar är "SoilScout" men det kan vara svårt att nå djupt nog med dessa system, eller givare med sladd som då måste planeras så att de inte interfererar med jordbruksaktiviteterna. Tjälldjupet behöver övervakas inom området och likaså skillnader i markfukt och temperatur och vindhastighet. Sensorer för dessa ändamål behöver därför fördelas ut inom raderna i solsambbruksanläggningen och på referensytorna.

För att mäta global horisontell solinstrålning är det viktigt med en kalibrerad och bra pyranometer. Också albedo (reflektioner från marken) är en viktig faktor i att förstå solkraftsprestandan för vertikala och dubbelsidiga system. Eftersom omgivningarna är olika i olika rader kan det bli aktuellt att ha flera albedoupställningar, vilket dock kan bli kostsamt om man inte kan hitta någon särskilt kostnadseffektiv lösning. För solsambbruk brukar man säga att man bör ha en särskild givare för att mäta PAR (fotosyntetiskt aktiv strålning), men det finns studier som tydligt visar att det går att med tillräcklig noggrannhet uppskatta PAR från globalstrålningen. Här behöver man göra en avvägning i förhållande till tillgänglig budget och hur stort behovet av faktiska PAR-data är i till exempel en grödmodell.

3.3.4 Ekonomisk utvärdering och bärkraftighet

En ekonomisk utvärdering av solsambbruk behöver ta hänsyn till regionens särskilda förutsättningar, inklusive klimat, solinstrålning, elpriser, nätkapacitet och investeringskostnader. Vid ekonomiska analyser används vanligtvis nyckeltal såsom återbetalningstid (ÅBT), nettonuvärde (NPV), internränta (IRR) och kostnad för producerad energi (LCOE). För ett solsambbruksprojekt i Norrbotten bör flera scenarier analyseras, exempelvis variationer i elpris, investeringskostnad, räntenivå och egenanvändningsgrad.

De driftkostnader som eventuellt kan komma att öka för ett solsambbruk jämfört med i en konventionell solpark respektive ytor med bara jordbruk behöver undersökas ytterligare. Beroende på hur omfattande kostnadsökningarna är kan det vara avgörande för en solsambbruksanläggnings lönsamhet om inte den initiala kalkylen där dessa är exkluderade har goda marginaler. Detta innebär att man i forskningsprojektet behöver föra noggrann bok över arbetstimmar och driftkostnader både vad gäller jordbruk och solelproduktion. Genom att analysera dessa data kan man dra slutsatser kring vilka designparametrar som kan komma att behöva justeras för olika förutsättningar, kunskap som blir mycket viktig om teknologin ska implementeras i stor skala.

Ur ett helhetligt översiktsperspektiv bör man också komma ihåg att jämförelsen mellan solsambbruk å ena sidan och jordbruk respektive solelproduktion å andra sidan ofta sker med olika system. Även om skillnaden i specifikt energiutbyte är liten mellan solcellsanläggningen i solsambbrukssystemet och den i referenssystemet förstärks skillnaden genom att mer än tre gånger högre installerad kapacitet per yta får plats med den föreslagna utformningen för solelreferensområdet jämfört med solsambbruksområdet ($\sim 140 \text{ kWp/m}^2$ jämfört med $\sim 45 \text{ kWp/m}^2$). Den här sortens avvikelser måste fångas upp och bemötas kvantitativt genom studier; man bör exempelvis fråga sig och undersöka om en liten optimerad solcellsanläggning

utan sambruk ger mer robusthet och värde till en framtidsgård med hög egenförbrukning än ett komplicerat solsambruk kan göra? Kan solsambrukets nyttoeffekter och mikroklimat ändå vara avgörande i vissa framtidsscenarier?

3.3.5 Miljömässig hållbarhet

Baserat på litteraturgenomgången som utförts i projektet har ett antal aspekter identifierats som potentiella framtida solsambruksforskningsområden i Norrbotten på temat miljömässig hållbarhet. Dessa inkluderar livscykelanalys (LCA), påverkan på mängd och variation av insekter (abundans och diversitet), samt lokaliseringsanalys för optimal placering av solsambruk.

Livscykelanalys LCA

I en LCA undersöks solsambrukets miljöpåverkan över hela eller delar av livscykeln. Analysen kan antingen genomföras som cradle-to-grave, alltså under hela solsambrukets livslängd (inklusive utvinning av mineraler och andra material, tillverkning av paneler, montering, utsläpp under driftskede, jordbrukets utsläpp och återvinning/avfallshantering av paneler), eller som gate-to-gate, det vill säga med fokus på en avgränsad del av livscykeln, till exempel själva driftskedet på plats. I en gate-to-gate-analys av solsambruk kan systemgränsen omfatta montering, förändrad markanvändning, jordbrukets insatsmedel och utsläpp, elproduktionens direkta driftutsläpp samt eventuella förändringar i kolbalans, men exkludera uppströmsprocesser som tillverkning av solpaneler och nedströmsprocesser som demontering och återvinning. En gate-to-gate-analys bedöms vara särskilt relevant här, då det tänkta forskningsprojektet fokuserar på solsambruk i Norrbotten och därmed kan begränsas till det som särskiljer Norrbotten från andra platser där solsambruk har etablerats.

Resultatet från en LCA kan användas för att jämföra solsambrukets miljöpåverkan med separat solenergiproduktion och jordbruk, förutsatt att jämförbara system analyseras med samma metodik. Exempelvis kan CO₂e-utsläpp per producerad kg gröda och kWh el undersökas. Markekvivalenskvoten (LER) är central att undersöka för att kunna ta hänsyn till potentiell minskad exploatering. Annan miljöpåverkan som toxicitet, resursförbrukning, eutrofiering och markförsurning kan också inkluderas. Slutsatser som dras från en LCA kopplar till om solsambruken leder till en ekologisk och miljömässig vinning jämfört med separata landanvändningar eller inte. LCA kan även bidra med vilka delar av solsambrukets livscykel som har störst negativ påverkan, vilket kan ligga till grund för rekommendationer om hur solsambruk bör utformas under norrbottniska förhållanden. Om studien görs i samarbete med andra solsambruk kan jämförelser även göras mellan olika typer av solsambruk i olika områden. Inspiration till forskningsstudien kan hämtas från Krexner m. fl. (2024) som gjort LCA för solsambruk i Österrike.

De exakta parametrarna som ska undersökas, samt hur de ska undersökas beror på hur forskningsprojektet finansieras. Om studien genomförs som del av ett konsortium med andra solsambruksparker finns det möjlighet att göra jämförande studie mellan olika platser, vilket kan visa på hur de norrbottniska förhållandena skiljer sig från eller liknar de andra platserna. Om studien inte genomförs i samarbete med andra parker kan fokuset i stället ligga på skillnaden mellan solsambruk och solcellsparker separat från jordbruk, eller solsambruk och jordbruk med befintlig energimix.

Påverkan på biodiversitet

På grund av den planerade forskningsanläggningens ringa storlek i ett ekologiskt perspektiv och dess planerade placering i mitten av ett odlingslandskap, skulle det vara svårt att dra starka

slutsatser kring hur makrofauna påverkas av solsambbruksanläggningen. Däremot skulle man kunna titta på hur mindre djur och växter trivs i de små habitat som bildas och jämföra det med omgivningen. För växter skulle man kunna göra en kontinuerlig serie av rutanalyser i skyddszonen runt solcellsrader och jämföra med hur det ser ut både i samma rader i odlingsreferensen och runt om solreferensanläggningen. Genom att undersöka och följa utveckling av de växter som etablerar sig där kan man kanske förutse långsiktiga effekter för lantbruket (till exempel att man behöver bearbeta marken eller spruta mer på grund av vissa växter som man inte blir av med eller en annan sammansättning av insektsfaunan).

Öjebyn Agro Park är också ett attraktivt område för fågelskådare och om man kan nyttja deras observationer och erfarenheter och koppla dem till uppförandet av en solsambbruksanläggning kanske man skulle kunna se något mönster i var och när olika fåglar syns till och vilka aktiviteter de har. Utgör de vertikala solcellspanelerna något hot eller hinder för fåglarna eller inte? Är den lilla heterogena landskapsbilden med olika tegar och biodiversitetsremsor positiv för fåglar jämfört med omkringliggande monokulturer?

Ett annat möjligt forskningsspår inom solsambbruksprojektet är att undersöka hur installationen av vertikala solpaneler påverkar insektsdiversitet och insektsrelaterade ekosystemtjänster i jordbrukslandskapet. Solsambbruken skapar en strukturell heterogenitet i odlingsystemet genom panelraderna och de obrukade zonerna intill dessa. Dessa zoner kan potentiellt fungera som mikrohabitat för pollinatörer samt predatoriska insekter som bidrar till biologisk bekämpning, förutsatt att de utformas för att skapa gynnsamma livsmiljöer för insekter. Studien kan därför inriktas på att undersöka om insektsdiversitet, artsammansättning och funktionell gruppfordelning påverkas av solsambbruken. Vidare kan det analyseras hur dessa parametrar varierar mellan olika positioner i fältet, exempelvis nära panelrader, mitt mellan rader samt i kantzoner. För robust analys kan studien utformas enligt en BACI-design (Before–After–Control–Impact), där mätningar genomförs både före och efter etablering av solpaneler samt i ett referensområde med samma odlingsföljd men utan paneler. Eftersom grödor roteras mellan odlingslängorna över tid kan effekten av paneler särskiljas från effekten av gröda genom fleråriga upprepade mätningar. Insektsprovtagning kan genomföras med exempelvis malaisefällor, färgskålar och fönsterfällor för flygande insekter och fallfällor för marklevande insekter. Resultaten kan analyseras med avseende på total diversitet (totalt antal arter), funktionell diversitet (förekomst av olika ekologiska roller) samt förekomst av nyckelgrupper såsom pollinatörer och predatorer.

Studien kan visa om solsambbruk leder till ökad, minskad eller oförändrad insektsdiversitet jämfört med konventionellt jordbruk, samt identifiera vilka delar av systemets utformning som är mest avgörande för biologisk mångfald. Resultaten kan därmed ge underlag för rekommendationer kring hur solsambbruksanläggningar bör designas för att optimera både elproduktion, jordbruksproduktion och ekologiska värden. Resultaten bör tolkas i ljuset av att referensområdet delvis inkluderar strukturer motsvarande solpanelszoner. Detta har gjorts för att uppnå hög jämförbarhet mellan områdena, men innebär samtidigt att analysen är beroende av den specifika utformningen av både anläggning och referensområde, och att skillnader i insektsabundans och -diversitet därmed kan vara underskattade.

Lokaliseringsanalys för Norrbotten i GIS

Ett annat möjligt forskningsspår är en GIS-baserad lämplighetsanalys (där GIS står för geografiska informationssystem) för att identifiera områden med goda förutsättningar för solsambbruk. Elkadeem m. fl. (2024) har genomfört en liknande analys på nationell nivå, men en

regional analys specifikt för Norrbotten möjliggör en bättre anpassning till de lokala förhållandena, såsom snöfall, solinstrålning, lokal fauna och rennäring.

Analysen baseras på multikriterieanalys (multi-criteria decision making, MCDM), där hela länet delas in i ett raster. Varje ruta tilldelas ett värde som representerar hur lämplig platsen är för solsambbruk. Arbetet inleds med att identifiera relevanta kriterier för solsambbrukets lämplighet, baserat på litteratur samt från lärdomar som dragits under forskningsprojektet gång. Dessa kriterier utgår från tekniska, juridiska, sociala, ekologiska, meteorologiska och ekonomiska aspekter. Genom att inkludera alla dessa aspekter i analysen kan områden med potentiella intressekonflikter identifieras och undvikas. Exempel på kriterier är markanvändning, närhet till skyddade områden eller områden med höga naturvärden, närhet till elnät och energiinfrastruktur samt tillgång till vägnät. Kriterierna delas in i två kategorier. Exkluderande kriterier används för att utesluta områden som bedöms som olämpliga, till exempel skyddade områden eller områden med särskilt höga naturvärden. Graderade kriterier används för att bedöma hur lämpliga de återstående områdena är, exempelvis baserat på närhet till elnät eller solinstrålning. Analysen genomförs stegvis där kriterierna först klassificeras och därefter överlagras i GIS. Områden som uppfyller samtliga exkluderande kriterier identifieras, och inom dessa områden viktas de graderade kriterierna mot varandra för att beräkna ett sammanvägt lämplighetsvärde. Olika viktningar kan jämföras för att analysera hur resultatet påverkas av olika prioriteringar, till exempel mellan ekonomiska och ekologiska värden.

Resultatet av analysen utgörs av en regional lämplighetskarta som visar hur förutsättningarna för solsambbruk varierar över Norrbotten. Kartan kan kompletteras med statistik över hur stor andel av länet som uppfyller olika nivåer av lämplighet samt hur dessa områden fördelas geografiskt. Resultatet är inte avsett att peka ut enskilda platser för etablering, utan att fungera som ett strategiskt planeringsunderlag och ett sätt att synliggöra vilka faktorer som är mest avgörande för lokalisering av solsambbruk i regionen. Analysen kan vidare användas som underlag för regional energiplanering och för att undersöka potentialen för solsambbruk i relation till både elproduktion och markanvändning. Den kan även kopplas till lönsamhetsanalyser och LER baserat på kombinationen av odlingsförutsättningar och solelproduktionens potential. Analysen genomförs med fördel senare i projektet, så att val av kriterier och viktningar kan baseras på erfarenheter och resultat från tidigare delar av forskningsarbetet. Det framtagna underlaget kan därmed bidra till att strukturera och synliggöra projektets samlade lärdomar.

3.3.6 Social hållbarhet

Urvalet av direkta sociala aspekter, viktiga sociala frågor och samhällskonsekvenser att undersöka baseras på tidigare studier av solsambbruksanläggningar. Då antalet fallstudier om solsambbruk i nordiska miljöer där sociala bedömningar ingår är begränsat ska inte nedanstående förslag ses som uteslutande eller nödvändigtvis heltäckande med avseende på social hållbarhet (IEA, 2025). I sammanställningen ingår även en översyn av tänkbara synergi- och systemeffekter mellan de sociala dimensioner, och miljömässiga, ekonomiska och tekniska aspekter som redovisas i denna rapport. Där det är möjligt kan vald forskningsmetod för vissa analyser av social hållbarhet anpassas för tillämpning över längre tidshorisont för att möjliggöra en granskning av förändringar i solsambbruks sociala prestanda över tid. Fastställning av eventuella långvariga mätindikatorer kan ske under utformning av det tilltänkta forskningsprojektet.

Tabell 13. Förslag på solsambbrukets direkta sociala aspekter att studera under forskningsprojektet

Direkt social aspekt	Social underaspekt
Användning av lokala leverantörer	-
Användning av lokal arbetskraft	Bygg Underhåll
Kunskapsbas och kompetensutveckling	Matchning Stöd
Välmående och hälsa kopplat till lokal miljö	Visuell påverkan Ljusförorening/reflektioner Lokalisering Tillgänglighet (lokal miljö) Bevarande & ingrepp i kulturmiljö
Tillgång till lokala resurser	Konkurrens på jordbruksmark Minskad industriell vattenbelastning
Bidrag till lokal ekonomisk utveckling (lokalsamhälle)	Vid gården I lokal samhället
Självförsörjningsgrad på el	-
Påverkan i värdekedjan	Tvångsarbete i värdekedjan Trygga och hälsosamma levnadsförhållanden (lokal samhälle)

Förslag på direkta sociala aspekter att studera i ett forskningsprojekt

Utifrån litteraturgenomgång och sammanställning av solsambbrukets direkta sociala aspekter (Tabell 5) föreslås följande att studeras i ett framtida forskningsprojekt (Tabell 13). Dessa föreslås studeras genom vedertagen metodik för S-LCA vilket innebär att aspekterna först operationaliseras till bedömningskriterier för att därefter läggas in i en så kallad bedömningsmatris (Goedkoop m. fl. 2020). Matrisen används för att analysera insamlade sociala data och resulterar i kvantitativa nyckeltal vilka mäter solsambbrukets sociala hållbarhet inom den direkta sociala aspekt som matrisen avser (Goedkoop m. fl. 2020).

Insamling av sociala data sker genom intervjuer men kan även ske som en del av en samrådsprocess. Processen används dessutom för att identifiera ytterligare sociala aspekter som bör inkluderas i den fortsatta analysen. Samråden genomförs i samarbete med projektets partners vilka initialt bidrar med faktaunderlag om den planerade anläggningen.

Förslag på viktiga sociala frågor att studera i ett forskningsprojekt

Förslag på viktiga sociala frågor att studera under forskningsprojektet är: Bevarande och ingrepp i kulturmiljön, Konkurrens på jordbruksmark och Lokalsamhällesnytta. Eftersom dessa frågor rör mer generella samhällsämnen är det mest lämpliga att de studeras genom en kvalitativ utforskande studie som action eller etnografisk baserad forskning (Punch, 2005). Här kan samrådsprocesser eller intervjuer användas för att samla in kvalitativa data. Dessa metoder möjliggör en mer nyanserad redovisning av en solsambbrukens anläggnings förhållande med samhället genom att de beskriver påverkan, risker och möjligheter som är kopplade till utvald viktiga sociala frågor.

Förslag på samhällskonsekvensområden att studera i ett forskningsprojekt

Förslag på samhällskonsekvensområden att studera under forskningsprojektet framgår av

Tabell 14. De föreslagna områdena används för att utvärdera innebörd och signifikans av solsambbrukets påverkan, risker och möjligheter vad gäller utvalda direkta sociala aspekter och viktiga sociala frågor (Punch, 2005). Vetenskaplig litteratur används för att operationalisera områdena i syfte att utveckla ett teoretiskt ramverk som kan tillämpas i

samhällskonsekvensbedömningen. Ramverket tillämpas genom användning av en tematisk analys där insamlade kvalitativa data från till exempel intervjuer granskas för att identifiera tema som matchar de teman som finns i det teoretiska ramverket (Bryman, 2008). Syftet blir att synliggöra och utvärdera de övergripande samhällskonsekvenserna som uppstår från byggnation och drift av en solsambruksanläggning.

Upplägg på den samrådsprocess som används för datainsamling till direkta sociala aspekter och viktiga sociala frågor utformas med stöd i teorier om rättvis omställning och forskning om social acceptans för energinfrastruktur. Detta i syfte att skapa förutsättningar för dialog, delaktighet och legitimitet (Victoria m. fl. 2025; Zeddies m. fl. 2025).

Tabell 14. Förslag på samhällskonsekvensområden att studera under forskningsprojektet

Samhälls-konsekvens-områden	Beskrivning
Rättvis omställning	Fördelningsrättvisa – Hur solsambrukets kostnader och nyttor fördelas i samhället Procedurrättvisa – Intressenters möjligheter att delta i beslut om solsambruk Erkännanderättvisa – I vilken grad intressenters behov, rättigheter och erfarenheter synliggörs och respekteras
Social acceptans	Positiv samhällelig mottagning av solsambruk som kommer till uttryck genom attityder, beteenden och politiskt stöd • Upplevd rättvisa i etablering, drift och hantering av målkonflikter. • Socialt stöd eller motstånd.
Samhällsresiliens	Solsambrukets bidrag till jordbrukets och lokalsamhällets motståndskraft: • Minskad sårbarhet för energiprissvängningar genom lokal elproduktion • Ökad attraktivitet och långsiktig livskraft i jordbruket • Möjlighet att återföra mark i långvarig träda till produktion • Stärkt lokal ekonomisk resiliens genom lokalt ägande och värdeskapande.

Social hållbarhet i relation till övriga fokusområden

De energimässiga, ekonomiska, tekniska, miljömässiga samt jordbruksmässiga aspekter som lyfts fram i förstudien har granskats för att identifiera möjliga samverkande faktorer. Flera av dessa kan inkludera de sociala aspekter, frågor och samhällskonsekvenser som identifierats i den sociala hållbarhetsanalysen. Granskningen utgör inte en fullständig genomgång utan fokuserar på beröringspunkter som framträder inom förstudiens övriga fokusområden. Avsnittet innehåller därför även reflektioner kring utformningen av en solsambruksanläggning i Norrbotten samt förslag på frågor för fortsatt forskning.

Flera av de identifierade samverkande faktorerna är kopplade till anläggningens utformning och lokalisering. En antireflexbehandling som potentiellt skulle kunna minska kollisionsrisken för fåglar och insekter kan exempelvis samtidigt reducera ljusreflexer och därmed den visuella påverkan. Även landskapsdesign och placering av vegetation kan skapa synergier mellan sociala och miljömässiga mål genom att minska den visuella påverkan och samtidigt stärka den biologiska mångfalden.

Val av lokalisering och utformning kan också påverka anläggningens motståndskraft mot klimatförändringar. Solpanelernas skuggande effekt kan minska markens vattenförluster och stärka vattenresiliensen, medan skuggning och vindskydd kan bidra till stabilare skördar vid extremväder. Dessa möjligheter behöver dock balanseras mot andra hänsyn, såsom visuell påverkan och landskapsbild.

En ökad förekomst av insekter och fåglar kan gynna biologisk mångfald men kan också innebära risker för jordbruket genom ökade skador på grödor och högre kostnader för skyddsåtgärder. Detta kan i sin tur påverka jordbrukares acceptans av solsambbruk. Om och i vilken omfattning sådana effekter uppstår behöver undersökas närmare.

Eftersom solsambbruk kan påverka de ekonomiska förutsättningarna för jordbruksverksamheter finns det anledning att undersöka vilka sociala följeffekter detta kan få för demografiska och kompetensrelaterade utmaningar inom jordbruket. Om solsambbruk bidrar till ökad lönsamhet och diversifierade intäkter (IEA, 2025 & Pellegrini m. fl. 2024) kan detta stärka jordbrukssektorns långsiktiga motståndskraft och bidra till att fler väljer att etablera sig eller stanna kvar inom näringen (Hill, 2026). På längre sikt kan detta påverka utmaningar kopplade till en åldrande arbetskraft, minskad sysselsättning och förlust av kunskap. Samtidigt kan investeringskostnader utgöra betydande etableringströsklar (SRC, 2025), särskilt för mindre jordbruksföretag, vilket gör frågor om kostnadsstruktur för markarrenden och ekonomiska incitament relevanta att studera vidare.

Sammantaget visar analysen att social hållbarhet i solsambbruk är nära kopplad till tekniska, ekonomiska, miljömässiga och jordbruksmässiga vägval. Detta talar för att frågorna bör analyseras integrerat vid både utformningen av en framtida testanläggning och planeringen av kommande forskningsinsatser.

4 Övrig diskussion

4.1 Insikter genom samtal

I förstudien har vi haft många och intressanta diskussioner, med varandra och med externa aktörer, kring skärningspunkterna mellan hållbarhet, långsiktigt robust och lönsamt jordbruk i Norrbotten och betydelsen av lokal och decentraliserad solelproduktion nu och i olika framtidsscenarier. Genom diskussionerna har det framkommit att de flesta frågor har minst två och ofta flera sidor och en mycket komplex bild av samverkande faktorer. Det är alltså svårt att diskutera isolerade förslag och problem utan att snart landa i helt andra frågor. Först efter att vi skaffat oss en helhetsbild över förutsättningarna har vi kunnat förstå hur viktigt det är att man i ett solsambbrukssammanhang har ett helhetligt – holistiskt – systemtänk. När vi planerat nästa steg har vi försökt hitta åt de mest kritiska faktorerna för de totala resultaten och gjort bedömningar utifrån det. I nästa projektsteg har vi möjlighet att förfinas, förstå och korrigera antaganden vilket också är hela bakgrunden till projektseriens upplägg. Redan nu kan vi dock konstatera att solsambbruk är ett i grunden mer komplicerat system än två avskilda system med odling respektive solelproduktion. Eftersom lönsamheten är starkt beroende av det framtida elpriset innebär vissa affärsmodeller en inbyggd risk. Samtidigt är lönsamhet något relativt och måste jämföras med nollalternativet i en föränderlig värld; vad är värdet av egen elproduktion i ett hypotetiskt framtida scenario där kostnaden för fossila bränslen skenat och det råder elbrist på grund av utebliven utbyggnad och accelererad elektrifiering av industrin? Vad är egen lokal matproduktion i ett förändrat klimat värt i tider av kris och hur sannolika är dessa scenarier?

Genom diskussionerna har det också blivit tydligt att en forskningsanläggning för solsambbruk i på Öjebyn Agro Park inte bara kan vara en tillfällig infrastruktur som demonteras eller läggs ner efter ett forskningsprojekt på några år. Satsningen och investeringen är i flera avseenden alltför stor. I stället bör man se forskningsanläggningen som en resurs värd att nyttja för framtida studier både vad gäller solsambbruk och anknytande ämnen. Forskningsanläggningen kan också bli en demonstrationsanläggning som nyttjas för att sprida kunskap och förståelse för en framtidsgård i Norrbotten. I förlängningen kan man utöver solsambbruksforskning också tänka sig att knyta an framtida anpassningar lantbruksaktiviteter, energilagringsstudier, lokalt engagemang med Öjebyn Agro Park som ett trygghets- och energicentrum och liknande.

4.2 Tillstånd och anslutning

För att bygga en solcellsanläggning på jordbruksmark behöver man förhålla sig till både hushållningsregler, allmänna hänsynsregler och provningar enligt miljöbalken, men också provning enligt plan och bygglagen. En omfattande genomgång av regler, rättsfall och policy för solsambbruk finns i en rapport från forskningsprojektet Solbruk i Skåne (Benz m. fl. 2025) på vilken mycket av nedanstående grundas. Tillståndprocessen för solcellsanläggningar på jordbruksmark är relativt komplex och inleds med en planeringsfas där man identifierar en lämplig plats. Jordbruksmark har ett starkt lagstadgat skydd, särskilt enligt 3 kap. 4 § i miljöbalken, som anger att brukningsvärd jordbruksmark i första hand ska användas för livsmedelsproduktion. För att ändå få använda sådan mark till en solcellsanläggning måste man visa att det finns ett väsentligt samhällsintresse, exempelvis behovet av förnybar energi, samt att det saknas bättre alternativa lokaliseringar (Länsstyrelsen Västra Götaland, 2025).

När en plats har identifierats krävs normalt ett samråd med länsstyrelsen enligt 12 kap. 6 § i miljöbalken. Detta beror på att större solcellsanläggningar anses innebära en betydande förändring av naturmiljön. Hur man kommer ställa sig till en mindre forskningsanläggning på Öjebyn Agro Park är i detta avseende oklart men en dialog bör föras med både länsstyrelsen i Norrbotten och Piteå kommun. I samrådsprocessen får länsstyrelsen, kommunen och berörda parter som till exempel närboende möjlighet att yttra sig. Projektören tar fram ett underlag som beskriver anläggningens påverkan på miljö, naturvärden och landskap. Efter samrådet kan länsstyrelsen besluta att projektet kan genomföras, kräva försiktighetsåtgärder eller i vissa fall stoppa projektet helt (Energimyndigheten, 2026).

Om projektet bedöms kunna medföra betydande miljöpåverkan krävs en mer omfattande miljöprovning och en miljökonsekvensbeskrivning (MKB). Då måste projektören genomföra ytterligare samråd och ta fram en detaljerad analys av påverkan på miljö, människor och naturresurser. Ärendet kan då prövas av Miljöprövningsdelegationen vid länsstyrelsen, som gör en samlad bedömning utifrån miljöbalkens regler. Det är också möjligt att frivilligt ansöka om ett sådant tillstånd för att få en tydligare rättslig provning och långsiktigt veta att ens anläggning har tillstånd där inte villkoren kan ändras.

Parallellt med samråd och miljöprovning hanteras frågorna enligt plan- och bygglagen. Ofta krävs inte något bygglov för själva solcellsparken om den ligger utanför detaljplanlagt område men en transformatorstation kräver till exempel alltid bygglov. Kommunen ska involveras och lämna yttranden om projektets lämplighet i relation till lokal planering och utveckling. Kommunen har dock ingen formell vetorätt, men dess synpunkter väger tungt i den samlade provningen.

Slutligen görs en övergripande intresseavvägning där olika samhällsintressen vägs mot varandra. Här beaktas bland annat behovet av livsmedelsproduktion, skydd av natur- och

kulturmiljö, landskapsbild och energiförsörjning. Om tillstånd ges är det ofta tidsbegränsat och förenat med villkor, exempelvis krav på att marken ska kunna återställas till jordbruksproduktion efter anläggningens livslängd.

4.3 Jordbruksstöd

Jordbruksstöd är ofta ekonomiskt avgörande för att man ska kunna bedriva odling i norra Sverige. Om en solsambruksanläggning medför att stödet dras in för det berörda skiftet och kostnaderna för odlingsaktiviteterna dessutom ökar (till exempel genom multipelproblematik) behöver vinsterna från ett förbättrat mikroklimat i solsambruksanläggningen och värdet av den genererade solelen kompensera för detta. Värdet av den genererade elektriciteten är dock mycket starkt knutet till elpriset, vilket i sin tur är svårt att förutsäga lång tid i förväg. Att fortsatt få tillgång till jordbruksstödet kan därför ses som en förutsättning för att solsambruk ska kunna bli ett realistiskt koncept för lantbruk som kan konkurrera och leverera i ett framtida Norrbotten.

Den allmänna uppfattningen är att det inte är möjligt att få jordbruksstöd för mark med solcellsanläggningar i Sverige idag vilket även den europeiska branschorganisationen Solar Power Europe noterat i sin kartläggning (Solar Power Europe, 2025).

Möjligheterna att få jordbruksstöd för odlingsaktiviteter på mark där det också finns hinder i form av en solcellsanläggning är dock juridiskt oklara i Sverige idag. I grund och botten handlar det om att följa rätts- och tillståndprocesser för att se om det kommer några prejudicerande domar som kan klargöra dessa förhållanden. I skrivande stund känner vi inte till något prejudicerande domslut som tydliggör detta för faktiska planerade solsambruksanläggningar och Jordbruksverket har föreslagit att en definition för vad som kan räknas som ett solsambruk i Sverige bör tas fram (Jordbruksverket, 2025).

När en solcellspark byggs på jordbruksmark innebär det att markanvändningen officiellt ändras för att man tolkar det som att marken varaktigt tas ur biologisk produktion. Detta innebär per automatik att man inte är berättigad till jordbruksstöd även om odlingen fortgår och kan också göra det svårt att få tillstånd (Länsstyrelsen Västra Götaland, 2025). Det är dock oklart om det måste vara på detta sätt om anläggningen *planerats* för att bibehålla eller till och med förbättra förutsättningarna för odling och hänsyn tas i flera andra avseenden genom konkreta planer. På liknande sätt framgår det i Jordbruksverkets instruktion för bedömning av stödberättigad jordbruksmark att hinder i ett skifte kan räknas bort givet att det uppfyller ett antal kriterier (Jordbruksverket, 2026).

I flera andra EU-länder är det fullt möjligt att få jordbruksstöd för mark med solsambruksanläggningar, men den måste då ofta uppfylla ett antal kriterier. Det kan vara prestandakrav som till exempel ett visst minsta LER-värde, en skördeavkastning som inte får minska mer än ett visst värde, eller att man inte får problem med svampangrepp och liknande. Det kan också vara rena utformningskrav som att marktäckningsgraden (GCR) inte får vara högre än ett visst värde, en maximal markfrigång, att solinstrålningen på marken inte får minska med mer än ett visst antal procent och så vidare. Mot denna bakgrund är det uppenbart att en tydlig definition av vad solsambruk är i Sverige vore önskvärt och skulle underlätta utvecklingen av ett rättvist och rimligt sätt att bedöma om odlingsaktiviteterna på en solsambruksanläggning kommer vara berättigade till jordbruksstöd. Arbete pågår för att möjliggöra en sådan definition, till exempel genom ett forskningsprojekt med namnet PLUS Sol (Policylab för synergier i solparks multifunktionella markanvändning) (PLUS Sol, 2026).

Referenser och litteraturhänvisningar

- Askemar & Van Noord (2021). Jämförelse av klimatpåverkan från tillverkning av olika solcellsmoduler. RISE Rapport 2021:78
- Andrén, L. (2025) *Solsambruk- En introduktion*, <https://scienceparkgotland.se/wp-content/uploads/2025/11/Solsambruk-En-introduktion.pdf>
- Barron-Gafford, G. A., Minor, R. L., Allen, N. A., Cronin, A. D., Brooks, A. E., & Pavao-Zuckerman, M. A. (2016). The Photovoltaic Heat Island Effect: Larger solar power plants increase local temperatures. *Scientific reports*, 6(1), 35070.
- Bellone, Y, Santangelo, E, Assirelli, A, Zainali, S, Impollonia, G, Croci, M, Elia Campana, P, Amaducci, P. *Agricultural mechanization in agrivoltaic systems: Challenges, adaptation, and possible advancements*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 229, 2026, 116661, doi: 10.1016/j.rser.2025.116661.
- Bernes, G & Gustavsson, AM, *Odling av vårrybs i Norr- och Västerbotten - fältstudie och odlingsråd*, (2016), Sveriges Lantbruksuniversitet Rapport 2016:3, https://pub.epsilon.slu.se/13583/7/bernes_et_al_160801.pdf
- Bergfors, J. (2022, november 24). *Stoppa vindkraftspark på Vallträskhobben, 700 har redan skrivit under i protest*. Mot Vind Sverige. <https://motvindsverige.org/stoppa-vindkraftspark-pa-valltraskhobben-700-har-redan-skrivit-under-i-protest/>
- Benz, S, Månsson, A, Morell, K, (2025) *Policy och regelverk för att främja produktion av både livsmedel och sol på samma jordbruksmark – analys och rekommendationer*, https://utveckling.skane.se/siteassets/publikationer/solbruk-i-skane_1.1-regelverk.pdf, hämtad 2026-06-25
- Birdlife Sverige (2023), <https://cdn.birdlife.se/wp-content/uploads/2023/12/Riktlinjer-BirdLife-Sverige-Solcellsparker-231203.pdf>, hämtad 2026-06-25
- Biró-Varga, K., Sirnik, I., & Stremke, S. (2024). Landscape user experiences of interspace and overhead agrivoltaics: A comparative analysis of two novel types of solar landscapes in the Netherlands. *Energy Research and Social Science*, 109. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103408>
- Björklund, S. (2026, February 17). *“Bergs kommun tappar befolkning om det blir mer vindkraft.”* <https://www.jamtlandstidning.se/berg-it26v8-placed/bergs-kommun-tappar-befolkning-om-det-blir-mer-vindkraft/301239>
- Bryman, A. (2008). *Social research methods* (3rd ed.). Oxford University Press.
- Commission Delegated Regulation (EU) 2023/2772 of 31 July 2023 Supplementing Directive 2013/34/EU of the European Parliament and of the Council as Regards Sustainability Reporting Standards (ESRS 2 General Disclosures, Annex 1), Pub. L. (EU) 2023/2772 (2023).
- Devine-Wright, P. (2008). Reconsidering public attitudes and public acceptance of renewable energy technologies: A critical review. In *Delivering a Low Carbon Electricity System: Technologies, Economics and Policy*. Cambridge University Press.
- Di Sabatino, M., Randle-Boggis, R., Kumar, R. R., Malhi, H., Lobaccaro, G., Bonesmo, H., Sharma, A., Völler, S., & Stokkan, G. (2024). Agrivoltaics in Norway: Microclimate Modelling and Grass Yields from the Highest Latitude Agrivoltaics System. In *AgriVoltaics Conference Proceedings* (Vol. 3).
- Edebo, G., *Monteringshöjd och markinterferens i nordliga solkraftsparker*, 2023, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1778653/FULLTEXT01.pdf>
- Elkadeem, M.R., Zainali, S., Lu, S.M., Younes, A., Abido, M.A., Amaducci, S., Croci, M., Zhang, J., Landelius, T., Stridh, B. and Campana, P.E., 2024. Agrivoltaic systems potentials in Sweden: A geospatial-assisted multi-criteria analysis. *Applied Energy*, 356, 122108.

- Energimyndigheten (2026), <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/tillstand-och-provning/tillstandsprocesser/tillstand-for-solcellspark/>
- Fraunhofer ISE, *Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition - A guideline for Germany*, (2024) <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/APV-Guideline.pdf>
- Fritz, B., Horváth, G., Hünig, R., Pereszlényi, Á., Egri, Á., Guttman, M., Schneider, M., Lemmer, U., Kriska, G. and Gomard, G., 2020. Bioreplicated coatings for photovoltaic solar panels nearly eliminate light pollution that harms polarotactic insects. *PLoS One*, 15(12), p.e0243296.
- Goedkoop, M. J.; de Beer, I. M., Harmens, R., Peter Saling, Dave Morris, Alexandra Florea, Anne Laure Hettinger, Diana Indrane, Diana Visser, Ana Morao, Elizabeth Musoke-Flores, Carmen Alvarado, Ipsita Rawat, Urs Schenker, Megann Head, Massimo Collotta, Thomas Andro, Jean-François Viot, & Alain Whatelet. (2020). *Methodology Report Product Social Impact Assessment*. www.product-social-impact-assessment.com
- Hill, A. (2026, January 14). *Solar grazing: 'triple-win' for sheep farmers, renewables and society or just a PR exercise for energy companies?* The Guardian. <https://www.theguardian.com/environment/2026/jan/14/solar-grazing-triple-win-sheep-farmers-renewables-energy-companies>
- Honningdalsnes, EH, Stensrud Marstein, E, Lindholm, D, Bonesmo, H, Nygard Riise H, (2025) *Wind sheltering in vertical agrivoltaics can increase crop yields: A modeling study for Northern Europe*, Energy Nexus, Volume 19, 100516, doi: 10.1016/j.nexus.2025.100516.
- Honningdalsnes, E. H., Marstein, Mehlhoop, A. C., Skrindo, A. B., Solstad, A., & Riise, H. N. (2025). Microclimate and Biodiversity Measurements in Norway's first East-West Tilted Agrivoltaic System, 42nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition
- IEA. (2022). *Special Report on Solar PV Global Supply Chains*. <https://www.iea.org/reports/solar-pv-global-supply-chains/executive-summary>
- IEA (2025) *Fact Sheet: Environmental Life Cycle Assessment of Electricity from PV Systems*. <https://iea-pvps.org/fact-sheets/fact-sheet-environmental-life-cycle-assessment-of-electricity-from-pv-systems/>
- IEA. (2025). *Dual Land Use for Agriculture and Solar Power Production: Overview and Performance of Agrivoltaic Systems*. <https://iea-pvps.org/key-topics/dual-land-use-agriculture-solar-power-production/>
- IEA. (2026). *Photovoltaics and Energy Security in the Greater Arctic Region*. <https://iea-pvps.org/key-topics/t13-security-greater-arctic-region-2026/>
- Ipsos. (2020). *Establishing the social license to operate large scale solar facilities in Australia: insights from social research for industry REPORT*.
- Jarčuška, B., Gálffyová, M., Schnürmacher, R., Baláž, M., Mišík, M., Repel, M., Fulín, M., Kerestúr, D., Lackovičová, Z., Mojžiš, M. and Zámečník, M., 2024. Solar parks can enhance bird diversity in agricultural landscape. *Journal of Environmental Management*, 351, p.119902.
- Jordbruksverket (2013) *Ekologisk odling av höstoljeväxter*, Jordbruksinformation 9, https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/jo13_9.pdf
- Jordbruksverket (2025), *Stärkt skydd av jordbruksmark samt solelsproduktion i den gemensamma jordbrukspolitiken*, <https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/ovr761.html>, hämtad 2026-06-25
- Jordbruksverket (2026) *Statistikdatabasen*, <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/statistikdatabasen>
- Jordbruksverket (2026) *Instruktion för bedömning av stödberättigad jordbruksmark*, <https://jordbruksverket.se/download/18.3c405d1919c4581999b575e/1770979292752/Instruktion-stodberattigad-jordbruksmark-2026-tga.pdf>, hämtad 2026-06-25

- Khan, J. (2024). *Social hållbarhet i energiomställningen*. Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Krexner, T., Bauer, A., Gronauer, A., Mikovits, C., Schmidt, J., & Kral, I. (2024). Environmental life cycle assessment of a stilted and vertical bifacial crop-based agrivoltaic multi land-use system and comparison with a mono land-use of agricultural land. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 196, 114321.
- Lilla Böslid. (2025). *Solbruk i vårt jordbrukslandskap konferens*.
- Lind, A., Määttä, H., Berninger, K., Carus Andersen, & Louise Kirstine. (2025). *Social acceptance as a prerequisite for the green transition*. <https://doi.org/10.6027/temanord2025-507>
- Lindh, M., Svedjeholm, M., Granlund, A., Petersson, J & Petersson, AM. (2020). *Handbok för nordlig sol*. RISE Energy Technology Center. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-45145>.
- Ljungström, M., & Hörnelius, J. (2023). *Ecovoltaics in Sweden Views on integrating measures for biodiversity in solar parks*.
- Länsstyrelsen Västra Götaland, (2025) Länsstyrelsens vägledning om solceller på jordbruksmark, <https://www.lansstyrelsen.se/vastra-gotaland/om-oss/vara-tjanster/publikationer/2025/lansstyrelsens-vagledning-om-solceller-pa-jordbruksmark-2025.html>
- MarginUp!, Projekt, <https://margin-up.eu/replication-hub/swedish-use-case/>, hämtad 2026-06-25
- Milani, A., Dessi, F., & Bonaiuto, M. (2024). A meta-analysis on the drivers and barriers to the social acceptance of renewable and sustainable energy technologies. *Energy Research and Social Science*, 114. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103624>
- Murphy, L., & Elimä, N. (2021). IN BROAD DAYLIGHT Uyghur Forced Labour and Global Solar Supply Chains 2 IN BROAD DAYLIGHT: UYGHUR FORCED LABOUR AND GLOBAL SOLAR SUPPLY CHAINS.
- Nain, P., & Kumar, A. (2020). Ecological and human health risk assessment of metals leached from end-of-life solar photovoltaics. *Environmental Pollution*, 267. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115393>
- Norin, T. (2026, January 30). *Byalag pekar på risk för missade miljoner i Nordkølen*. Jämtlands Tidning. <https://www.jamtlandstidning.se/berg-jt26v5-placed/byalag-pekara-risk-foer-missade-miljoner-i-nordkoelen/293123>
- Pascaris, A. S., Gerlak, A. K., & Barron-Gafford, G. A. (2023). From niche-innovation to mainstream markets: Drivers and challenges of industry adoption of agrivoltaics in the U.S. *Energy Policy*, 181, 113694. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2023.113694>
- Pascaris, A. S., Schelly, C., Burnham, L., & Pearce, J. M. (2021). Integrating solar energy with agriculture: Industry perspectives on the market, community, and socio-political dimensions of agrivoltaics. *Energy Research and Social Science*, 75. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102023>
- Pascaris, A. S., Schelly, C., Rouleau, M., & Pearce, J. M. (2022). Do agrivoltaics improve public support for solar? A survey on perceptions, preferences, and priorities. *Green Technology, Resilience, and Sustainability*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44173-022-00007-x>
- Pellegrini, C., Tomasi, S., & Gaspari, F. (2024). *Beyond social acceptance: justice implications in Agri-PV - (Deliverable D6.3)*.
- Pettersson, I., Morell, K., Råberg, T., van Noord, M., Zinko, U., Ghaem Sigarchian, S., Sandström, A., Unger, M. (2022) *Ecovoltaics och agrivoltaics - en handbok om solcellsparker som gynnar biologisk mångfald och ekosystemtjänster*. ISBN 978-91-89711-96-9, RISE Research Institutes of Sweden.
- Pfenninger, S, Iain Staffell, I (2016) *Long-term patterns of European PV output using 30 years of validated hourly reanalysis and satellite data*, *Energy*, Volume 114, Pages 1251-1265, doi: 10.1016/j.energy.2016.08.060.

- PLUS Sol (2026), Projekt: *PLUS Sol (Policylab för synergier i solparkers multifunktionella markanvändning)*, <https://www.ri.se/sv/projekt/policylabb-for-synergier-i-solparkers-multifunktionella-markanvandning>
- Potter, R., Binns, T., Smith, D., Elliott, J. A., & Nel, E. (2008). *Geographies of Development* (3rd ed.). Routledge.
- Punch, K. F. (2005). *Introduction to social research: Quantitative and qualitative approaches*. Sage.
- Rixham, C. (2025, July 3). *Agrivoltaics: A social study – What Reddit Can Tell Us About Opposition To Solar Farming and What it Takes to Change Minds* | American Solar Energy Society. <https://ases.org/agrivoltaics-a-social-study-what-reddit-can-tell-us-about-opposition-to-solar-farming-and-what-it-takes-to-change-minds/>
- Solar Power Europe (2024): *Agrisolar Handbook*. <https://www.solarpowereurope.org/insights/thematic-reports/agrisolar-handbook-1>
- Solar Power Europe (2025): *Agrisolar Policy Map*, https://api.solarpowereurope.org/uploads/Agrisolar_Policy_Map_Final_34d0583fc4.pdf?updated_at=2025-10-21T08:23:58.227Z
- SRC. (2025, September 25). *Factory-made “Future Foods” risk overshadowing scalable, sustainable solutions - Stockholm Resilience Centre*. <https://www.stockholmresilience.org/research/research-stories/2025-09-25-factory-made-future-foods-risk-overshadowing-scalable-sustainable-solutions.html>
- Svensk Vindbolaget AB, & Rätansbygdens byalag. (2011). *Avtal om bygdepeng för berörd bygd 2011*. <https://ratansbygden.se/wp-content/uploads/2024/11/Avtal-Ratansbygdens-byalag.pdf>
- Sundström, J, Petersson, AM, Estola, P, Andersson, R, Svedjeholm, M, Fooladgar, E, (2023), Anpassning av soleanläggningar till nordiska förhållanden, <https://www.e2b2.se/media/gowcgozu/anpassning-av-soleanlaggningar-till-nordiska-forhallanden.pdf>
- Tawalbeh, M., Al-Othman, A., Kafiah, F., Abdelsalam, E., Almomani, F., & Alkasrawi, M. (2021). Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook. *Science of the Total Environment*, 759. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143528>
- Torma, G., & Aschemann-Witzel, J. (2023). Social acceptance of dual land use approaches: Stakeholders’ perceptions of the drivers and barriers confronting agrivoltaics diffusion. *Journal of Rural Studies*, 97, 610–625. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.01.014>
- Trigg, R. (2001). *Understanding social science a philosophical introduction to the social sciences*. Blackwell Publishers.
- UN OHCHR. (2022). *OHCHR Assessment of human rights concerns in the Xinjiang Uyghur Autonomous Region, People’s Republic of China*. www.shahit.biz.
- Upham, P., Oltra, C., & Boso, A. (2015). Towards a cross-paradigmatic framework of the social acceptance of energy systems. In *Energy Research and Social Science* (Vol. 8, pp. 100–112). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.05.003>
- Valencia G, S., Munkhammar, J., Theocharis, A. and Zhang, X., 2026. Greenhouse gas mitigation potential of solar photovoltaics: a highly variable indicator within the European Union. *npj Clean Energy*, 2(1), p.15.
- Victoria, M., Pullens, J. W. M., Torma, G., Lindhardt, M. K. K., Niazi, K. A. K., Jahangirlou, M. R., El Khoury, Y. V., Aschemann-Witzel, J., Ottosen, C. O., & Jørgensen, U. (2025). Vertical agrivoltaics in a temperate climate: Exploring technical, agricultural, meteorological, and social dimensions. *Energy Nexus*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2025.100526>
- Walston Jr, L.J., Rollins, K.E., LaGory, K.E., Smith, K.P. and Meyers, S.A., 2016. A preliminary assessment of avian mortality at utility-scale solar energy facilities in the United States. *Renewable Energy*, 92, pp.405-414.
- Zad, A.N., Agostini, A., Impollonia, G., Zainali, S., Croci, M., Colauzzi, M., Campana, P.E. and Amaducci, S., 2025. Life cycle assessment of various agrivoltaic systems across Europe. *Sustainable Production and Consumption*.

- Zeddies, H. H., Parlasca, M., & Qaim, M. (2025). Agrivoltaics increases public acceptance of solar energy production on agricultural land. *Land Use Policy*, 156. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2025.107604>
- Zhang, H., Yu, Z., Zhu, C., Yang, R., Yan, B., & Jiang, G. (2023). Green or not? Environmental challenges from photovoltaic technology. *Environmental Pollution*, 320, 121066. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2023.121066>
- Öhlund, A. (2022, november 16). *Hård kritik mot vindkraftspark i Storuman – kan bli lokal folkomröstning* | SVT Nyheter. Svt Nyheter. <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasterbotten/stark-kritik-mot-jattevindraftspark-i-storuman-kan-bli-lokal-folkomrostning>

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.



RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Lokala Energisystem
RISE Rapport: 2026:63
ISBN: 978-91-90109-92-2