



Växtodling i kombination med solelproduktion

Arable cropping and production of solar electricity in combination

Isabell Andreasson & Måns Holmqvist



Självständigt arbete • (15 hp)

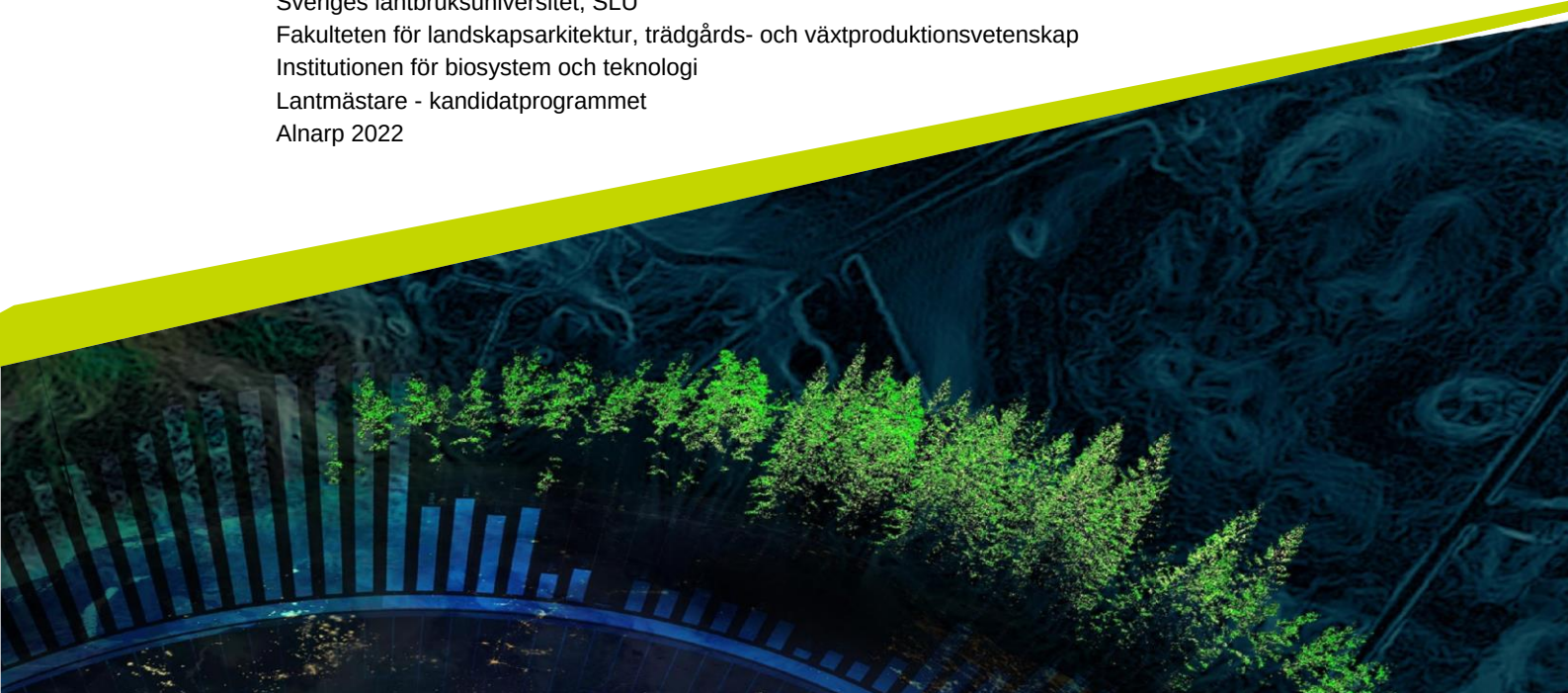
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för biosystem och teknologi

Lantmästare - kandidatprogrammet

Alnarp 2022



Växtodling i kombination med solelproduktion

Arable cropping and production of solar electricity in combination

Isabell Andreasson & Måns Holmqvist

Handledare: Torsten Hörndahl, Sveriges Lantbruksuniversitet,
Institutionen för biosystem och teknologi.
Examinator: Sven-Erik Svensson, Sveriges Lantbruksuniversitet,
Institutionen för biosystem och teknologi.

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i Lantbruksvetenskap
Kurskod: EX0885
Program/utbildning: Lantmästare - kandidatprogrammet
Kursansvarig inst.: Institutionen för biosystem och teknologi

Utgivningsort: Alnarp
Utgivningsår: 2022
Omslagsbild: Isabell Andreasson

Nyckelord: Agrovoltaisk, vertikala solceller, solpaneler, kombinerad jordbruks- och elproduktion, solcellsparker, solparker.

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap.
Institutionen för biosystem och teknologi

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Sammanfattning

Intresset för solpaneler och solelproduktion har ökat de senaste åren, framförallt intresset för storskaliga solparker på jordbruksmark i takt med att tekniken har blivit billigare. Etablering av solparker på jordbruksmark är dock kontroversiellt och det råder delade meningar kring lämpligheten till denna typ av elproduktion. Kritik som framförs handlar främst om att jordbruksmark som kan användas för livsmedelsproduktion tas i anspråk och eftersom det inte finns något etablerat regelverk för hur marken ska återställas när produktionen av solel upphört finns det oklarheter om marken kan användas till jordbruksproduktion igen.

Ett alternativ till de traditionella solparkerna är de agrovoltaiska systemen där elproduktion och jordbruksproduktion kombineras. Fördelen med detta system är att marken fortfarande är tillgänglig för livsmedelsproduktion, samtidigt som den även producerar el. I Sverige finns en försöksanläggning på Kärrobo Prästgård, Västerås, med ett system där vertikala solpaneler i rader kombineras med odling mellan raderna. Utomlands är agrovoltaiska system vanligare och i bland annat Tyskland och Italien finns de i relativt stor skala. Dessa är dock monterade på en stålställning ett par meter över grödan. Försök från andra länder har visat att skuggan från solpanelerna kan ge skördeökning av grödan, dock avtar denna effekt desto större avståndet i sidled är mellan solpanelerna.

Det finns idag inte speciellt mycket erfarenheter kring hur ett system med vertikala solpaneler i rader kombinerat med odling mellan raderna fungerar i praktiken ur ett svenskt perspektiv och hur det ska gå att kombinera med ett rationellt brukande av åkermarken. Detta arbetes syfte har varit att försöka besvara dessa frågor. Beräkningar har gjorts för olika arbetsbredder på redskap, olika avstånd mellan solpanelerna, olika fältformer, samt olika fältstorlekar för att se hur effektiviteten vid fältarbeten påverkas. De avstånd som har undersökts är 13, 25 och 37 meter mellan solpanelerna. De fältarbeten som undersökts är växtskydd/sprutning, och tre olika former av jordbearbetnings- och etablerings-system. Dessa är konventionell bearbetning och sådd (plog, harv, universal-såmaskin), reducerad bearbetning och sådd (tallriksredskap, kultivator och universalsåmaskin), samt direktsådd (direktsåmaskin).

Eftersom det har gjorts många beräkningar i Excel och dessa är länkade till varandra i flera steg, är det möjligt att ett felaktigt värde hamnat någonstans och skapat ett följdfel. De kalkylark, från Agrimach (2000), som använts är ganska begränsade i sin utformning och vilka värden som går att räkna fram. De är inte byggda för att beräkna kapaciteten vid fältarbeten i ett agrovoltaiskt odlings-system och även det kan vara en felkälla. Resultatet bör därför användas med försiktighet.

Resultatet från beräkningarna visade att kapaciteten försämras mest i systemet med reducerad bearbetning. Detta beror på att i systemet med reducerad bearbetning har det antagits att jordbearbetningen sker snett mot sårriktningen (som är i samma riktning som raderna med solpaneler). Det medför att vändningar

ibland sker mellan raderna av solpaneler istället för på vändtegen, därmed blir dragen ibland väldigt korta och mycket tid går åt för vändning vilket sänker kapaciteten. Minst påverkan på kapaciteten har det direktsådda systemet. De fältformer som är mest lämpliga för att placera solpanelerna på är fält med rektangulär eller kvadratisk fältform.

Raderna med solpaneler ska placeras i nord-sydlig riktning, för att ge hög och jämn elproduktion. Detta medför att fälten behöver ligga på ett sätt som medför långa rader i denna riktning, eftersom långa rader ger bättre maskinkapacitet än korta.

Slutsatserna från detta arbete är följande:

- Av de undersökta fältformerna är stående rektangel och kvadrat de mest lämpliga för ett agrovoltaiskt system.
- Fältets form har störst betydelse för hur kapaciteten påverkas när odling kombineras med elproduktion. Fältstorleken har inte lika stor betydelse.
- Av de jämförda jordbearbetnings- och etableringsmetoderna är direktsådd det system som har lägst minskning av kapaciteten av de undersökta systemen.
- Det reducerade systemet får störst minskning av maskinkapaciteten på grund av att vändning med maskinerna ibland sker mellan raderna av solpaneler och inte alltid på vändtegen.
- Solpanelernas skördepåverkande effekt bedöms enligt litteraturen som marginell på de undersökta avstånden mellan solpanelerna under svenska förhållanden.

Nyckelord: Agrivoltaics, vertikala solceller, solpaneler, kombinerad jordbruks- och elproduktion, solcellsparkar, solparker.

Summary

The interest in solar panels and solar energy production has increased in recent years. Especially the interest in large-scale solar parks – since the technology has become cheaper. However, the establishment of solar parks on agricultural land is controversial and there are divided opinions about the sustainability of the combined production. The main criticism of solar parks is that agricultural land will be used for electricity production. Since there are no regulations for how the land should be restored when the solar panels have expended, there is uncertainty if the land ever can be used for agricultural production again.

An alternative to the regular solar parks is agrivoltaic systems, where crop production and production of electricity are combined on the same land. The advantage of this system is that land still can be used for food production simultaneously as electricity is produced. In Västerås, Sweden, there is an experiment with a system where vertical solar panels in rows are combined with crop production between the rows. In a global perspective, agrivoltaic systems are more common abroad compared to Sweden. For example, in Germany and Italy, large-scale agrivoltaic systems are relatively common. In these countries, the solar panels are mounted on a steel frame some meters above the crop. Studies have shown that shading from solar panels can increase crop yield. However, wider distances between the rows of solar panels have shown a decreased shade effect.

Limited experience and knowledge on how agrivoltaic system would work in a Swedish perspective, where the crop cultivation is done between the rows and how such a system could be combined with rational production of arable land. Therefore, the purpose of this thesis is to find the answers to these questions. Calculations have been made with different working widths of implements, different distances between the rows of solar panels, different field shapes, and different field sizes. To see how the capacity of the fieldwork is affected. The analyzed distance between the rows of solar panels were 13, 25 and 37 meters. The fieldworks that were analyzed were spraying pesticides and three different forms of tillage and different methods of sowing. These systems were conventional tillage and sowing (plow, harrow and universal seed drill), reduced tillage and sowing (disc harrow, cultivator and universal seed drill), and direct drilling (direct seed drill).

The calculations have been made with Excel. Since the calculations have been made in several steps it is possible that an incorrect value ended up somewhere and created a consequential error. The spreadsheets that were used from Agrimach (2000) are quite limited in how they can be used and what values they are able to calculate. They are not designed to calculate the capacity of the field work in an agrivoltaic system and that could also be a source of error. Therefore, the result should be used with caution.

The result shows decreased capacity mostly in the system with reduced tillage. That is because the tillage is done with an angle against the direction of the

seeding (which is done in direction of the rows with solar panels). This causes that the turnings with the machines sometimes occurs between the rows of solar panels instead of turnings on the headlands. Because of this, the field work capacity is decreased. Direct drilling system had the least impact on the capacity. The most suitable field shapes for solar panels are fields with a rectangular or square shape.

The rows of solar panels must be placed in a north-south direction to produce as much electricity as possible. This means that the fields need to be located in a way that allows long rows in this direction, as long rows provide better field work capacity than short rows.

The following conclusions could be drawn from this study:

- The shape of the field is the most important factor for how the field work capacity of an agrivoltaic system is affected. The size of the field is less important.
- For an agrivoltaic system, fields with a rectangular and square shape are the most suitable.
- Direct drilling is the method with the lowest decrease in field work capacity.
- The system with reduced tillage is the method with the highest decrease in field work capacity. That is because the turning with the machines sometimes occurs between the rows of solar panels instead of turning on the headlands.
- The yield-increasing effect from the shading of the solar panels will be marginal in the researched row distances during Swedish conditions.

Keywords: agrivoltaics, vertical solar panels, solar panels, combined crop - and solar energy production, solar parks.

Förord

Lantmästare -- kandidatprogrammet är en treårig universitetsutbildning vilken omfattar 180 högskolepoäng (hp). Inom programmet är det möjligt att ta ut två examina, en lantmästarexamen 120 hp och en kandidatexamen 180 hp. En av de obligatoriska delarna i denna är att genomföra ett eget arbete som ska presenteras med en skriftlig rapport och ett seminarium. Detta arbete kan t.ex. ha formen av ett mindre försök som utvärderas eller en sammanställning av litteratur vilken analyseras. Detta arbete är utfört under programmets tredje år och arbetsinsatsen motsvarar minst 10 veckors heltidsstudier (15 hp).

Idén till detta arbete kom ifrån Torsten Hörndahl som också har varit handledare. Torsten har även gett snabb respons på våra frågor, kommit med relevanta synpunkter och frågeställningar för att vi ska komma framåt i arbetet när vi fastnat i processen. Frågan om att etablera solpaneler på åkermark är i nuläget (2022) högaktuell och en mycket omdiskuterad och polariserad fråga. Att kunna använda ett agrovoltaiskt system kan därför vara en möjlig väg framåt. Detta skapade ett intresse att fördjupa kunskaperna om ämnet då det är en fråga i tiden och för att kunna bidra till att hitta nya lösningar.

Vi vill tacka SLU Partnerskap Alnarp som bidragit med finansiering till detta arbete.

Vi vill även rikta ett stort tack till Ulf Andersson på Kärbo Prästgård, Västerås för att vi fick komma på studiebesök och titta på solcellssanläggningen som finns på gården och ställa frågor om anläggningen.

Sven-Erik Svensson har varit examinator.

Alnarp i maj 2022.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Mål	2
1.4 Frågeställning	2
1.5 Avgränsning	2
2. Litteraturgenomgång	3
3. Metod och material	8
3.1 Litteratursökning	8
3.2 Beräkningar	8
4. Resultat	13
5. Diskussion	17
8. Referenser	21
9. Bilagor	23
Bilaga 1	23
Bilaga 2	24
Bilaga 3	25
Bilaga 4	26
Bilaga 5	27
Bilaga 6	28

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Intresset för solpaneler har ökat de senaste åren, framförallt intresset för större solparker i takt med att tekniken har blivit billigare och ger större möjlighet att utnyttja stordriftsfördelar för att hålla kostnaderna nere. Det har byggts en del solparker på åkermark och det finns fler som är planerade. Det har dock blivit mer och mer omdiskuterat att bygga solparker på åkermark. Länsstyrelserna har blivit restriktiva med att ge tillstånd för att etablera solparker på åkermark, eftersom de inte vet om och hur marken kommer återställas när solelproduktionen upphör. De anser att det ena viktiga (elproduktion) ställs emot och förstör det andra viktiga (livsmedelsproduktion). En stor anledning till länsstyrelsernas restriktivitet beror på att det inte finns ett etablerat regelverk som ställer krav på att marken ska återställas efter att solparken blivit uttjänt. Där solparkerna anläggs går marken inte längre att bruka fullt ut. Marken runt solpanelerna anses endast kunna användas till bete (Vetenskapsradion Klotet 2021).

Kritiker anser att det är problematiskt med storskaliga solparker, eftersom högproduktiv mark som kan användas för livsmedelsproduktion tas i anspråk och inte längre kan producera lika mycket jämfört med tidigare. Vidare finns det vissa som anser att storskaliga solparker blir mycket negativt för det vilda djurlivet och den biologiska mångfalden. Det finns således idag en målkonflikt mellan å ena sidan biologisk mångfald och jordbruk och å andra sidan elproduktion (Vetenskapsradion Klotet 2021).

Det undersöks därför om det är möjligt att kombinera jordbruk med elproduktion från solpaneler, kallat agrovoltaiska system. Utvecklingen av agrovoltaiska system har kommit längre på andra ställen i Europa, än vad den har gjort i Sverige. I bland annat Tyskland och Italien finns det agrovoltaiska system i stor skala. I Sverige finns det i nuläget en försöksanläggning på Kärbo Prästgård utanför Västerås. I denna anläggning kombineras vertikala solpaneler som står i rader med odling mellan raderna. (Vetenskapsradion Klotet 2021).

Ur ett svenskt perspektiv finns det idag endast begränsat med forskning och erfarenheter kring hur ett agrovoltaiskt system ska fungera i praktiken och hur det ska kunna integreras och kombineras med en rationell jordbruksproduktion. För att kunna utveckla agrovoltaiska system vidare i Sverige behöver kunskaperna inom detta område stärkas genom fler studier.

1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att få mer kunskap om solpaneler, sprida information om ämnet samt undersöka hur elproduktion från solpaneler på åkermark kan kombineras med odling av lantbruksgrödor.

1.3 Mål

Målet är att undersöka ett par olika parametrar och dess betydelse för hur effektivt och rationellt fältarbetet blir i ett agrovoltaiskt system. Dessa parametrar är avståndet mellan raderna av solpaneler, fältstorleken, fältformen och riktningen som raderna placeras och hur totalarean solpaneler påverkas av dessa parametrar. Även etableringssystemets påverkan på kapaciteten vid fältarbete, i ett system med odling mellan rader av solpaneler kommer belysas.

1.4 Frågeställning

- Vilken betydelse har avståndet mellan solpanelerna, fältstorleken, fältformen och radernas riktning för kapaciteten vid fältarbete?
- Hur påverkar dessa parametrar arean av solpaneler som kan placeras per hektar?
- Vilka typer av fält är mest och minst lämpade för ett agrovoltaiskt odlingssystem?
- Hur påverkas kapaciteten i ett system med plöjning, reducerad bearbetning samt direktsådd? Är något av systemen mer eller mindre lämpligt?

1.5 Avgränsning

Fokus med detta arbete är undersöka hur ett system med vertikala solpaneler i rader och odling mellan raderna kan fungera i praktiken, ur ett svenskt perspektiv och utifrån de odlingsförutsättningar som representerar svenska gårdar. Huvudsakligen kommer växtskyddsbehandling, samt olika jordbearbetnings- och etableringsmetoder för svenska spannmålsgrödor att belysas. I detta arbete kommer inga ekonomiska aspekter analyseras.

2. Litteraturgenomgång

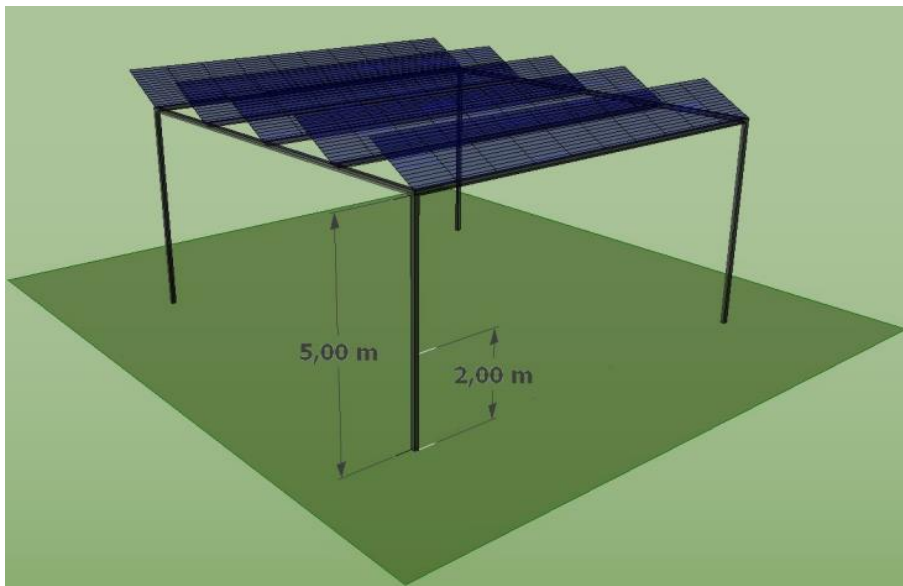
Utformningen av solpaneler kan variera mycket. De flesta solparkerna byggs idag med solpanelerna monterade på en ställning, som liknar en ramp som sitter fast i marken och med solpanelerna lutande mot söder, se figur 1. De vanligaste utformningarna av solpaneler i agrovoltaiska system är antingen vertikalt monterade solpaneler, se figur 2 eller att solpanelerna monteras på en hög ställning som ett "tak" ovanför fältet som möjliggör för maskiner att åka under dem, se figur 3. Solpanelerna på denna ställning monteras lutande mot söder (Ferrell 2021). Ytterligare ett utförande är solpaneler med solföljare, där panelerna monteras på en ställning som antingen är rörliga i nordlig och sydlig riktning (Solkompaniet u.å.). Alternativt rörliga i 360 graders riktning. Detta gör att solpanelerna fångar sol under dygnets alla soltimmar (Wallnér 2020). Den sistnämnda är dock ovanlig på grund av att denna variant av ställning är betydligt dyrare och kräver mycket mer utrymme för att rotationen ska vara möjlig (Ferrell 2021).



Figur 1: Agrovoltaiskt system, solpaneler monterade på en ställning med lutning mot söder, på Kärro Prästgård. Foto: Isabell Andreasson.



Figur 2: Agrovoltaiskt system, vertikalt monterade solpaneler, på Kärro Prästgård. Foto: Isabell Andreasson.



Figur 3: Agrovoltaiskt system, solpaneler monterade på en ställning som bildar ett tak. Illustration: Isabell Andreasson.

Utöver att det finns många varianter av ställningar och utföranden för montering av solpaneler, finns det även olika typer av solpaneler. Variationen omfattar olika storlekar, paneler som fångar sol på båda sidor av panelen och varianter som släpper igenom solljus (semitransparenta) (CSUExtension 2020).

Konceptet att kombinera elproduktion med matproduktion etablerades i teorin redan på 1980-talet. Dock blev det praktiskt genomfört först 2013 i Frankrike. I den första praktiska etableringen av systemet var inte solpanelerna vertikala, utan hade en vinkel på 25 grader och ett radavstånd på 4 meter. Idén bakom agrovoltaiska system grundar sig i en tanke om att tillgodose både behovet av el och av livsmedel på ett hållbart sätt. Systemet kan bidra till att nå det globala målet hållbarhetsmålet förnybar elproduktion. Solen kommer behövas i framtiden för att möta det stora behovet av el. Samtidigt kan åkermarken fortsätta brukas och livsmedelproduktionen äventyras därmed inte (Dinesh & Pearce 2016). Liknande system där odling av olika grödor i rader har använts i ett system som heter agroforestry. Agroforestry innebär att odling eller bete sker i rader med träd emellan som avgränsning. Detta system är uråldrigt där fördelarna med samodling av träd och andra växter, som exempelvis ökad biologisk mångfald tas tillvara på (Naturskyddsföreningen 2022).

Förespråkandet av vertikala solpaneler på jordbruksmark istället för traditionella solpaneler som har en lutning, beror på möjligheten att använda jordbruksmarken bättre genom att kombinera två olika produktionsinriktningar. (Vetenskapsradion Klotet 2021). Det finns studier från Italien och Tyskland som visar att agrovoltaiska system kan öka skörden och samtidigt bidra till elproduktion på samma yta. Detta gör att den totala kvoten av producerade nödvändigheter per hektar ökar, vilket leder till att produktionen på jordbruksmark optimeras. (Vetenskapsradion Klotet 2021). En teori till varför det kan vara en fördel med

vertikala solpaneler som fångar solen från öst och väst är att dessa ger störst elproduktion under för- och eftermiddag (Bellini 2021a). De blir då ett bra komplement till de lutande solpanelerna som fångar solen från söder då dessa ger störst elproduktion mitt på dagen (Dinesh & Pearce 2016). Detta ger sammantaget en mer stabil elproduktion under dagen. (Bellini 2021a).

Försök har gjorts på agrovoltaiska system i andra länder, främst Tyskland och Italien, där även denna typ av odling är mer förekommande. I dagsläget finns det lite information om hur vertikala solparker med odling mellan panelerna fungerar och bör utformas för svenska förhållanden. Utöver det försök som har påbörjats på Kärrbo Prästgård utanför Västerås av Mälardalens Universitet har inga svenska försök gjorts. Det finns därför begränsat med erfarenhet av hur effektiv odlingen blir tillsammans med solpanelerna eller vilka parametrar som påverkar effektiviteten av kombinationen på fält under svenska förhållanden. (Vetenskapsradion Klotet 2021).

I många av de länder där agrovoltaiska system är vanliga finns det olika statliga regelverk för hur systemen bör utformas och begränsas, vilket kan hjälpa till att utveckla och etablera systemen. Exempelvis har Japan subventioner som kan utdelas ifall det uppstår en skördeminskning med 20 procent på den odlade grödan, om minskningen beror på det agrovoltaiska systemet. (Campana et al. 2021). Detta eftersom det finns en vilja att etableringen av agrovoltaiska system inte ska påverka lantbrukaren negativt ekonomiskt (Bellini 2021b). Eftersom agrovoltaiska system är nytt i Sverige finns det i dagsläget inget regelverk som reglerar agrovoltaiska system. Detta gör utvecklingen långsammare och etableringen svårare (Campana et al. 2021).

Agrovoltaiska system har flera fördelar. Systemen skapar en helhet av både livsmedels- och energiproduktion. Kombinationen av dessa kan ge en bättre ekonomi tillsammans än vad vardera produktionen kan ge var för sig. Genom de synergieffekter och de ökade intäkter systemet ger, blir återbetalningstiden kortare jämfört med en traditionell solpark. Detta kan göra en investering mer attraktiv. Det finns erfarenheter som visar att avkastningen från grödan blir högre mellan solpanelerna vid stark sol och i torra klimat. Solpanelerna skuggar grödan vilket bevarar mer fukt i marken genom minskad avdunstning. Skuggningen från solpanelerna har i vissa fall gett en dubblad avkastning i torra klimat (Campana et al. 2021; Dinesh & Pearce 2016). Det har gjorts försök på nyare solpaneler som är semitransparenta som visar att vissa grödor, exempelvis sallatsväxter ger en bättre skörd med solpaneler som ej är transparenta jämfört med de semi-transparenta (CSUExtension 2020). Det finns ett flertal grödor som är mer tåliga för skugga och skulle klara ett tätare avstånd mellan solpanelerna. Det resulterar i en bättre lönsamhet trots den ökade andelen skugga. Exempel på grödor som är mer skuggtåliga är bladgrönsaker som sallat, men även stenfrukter, bär, sparris samt gräsvall (Trommsdorff et al. 2020).

Solpanelernas skuggning kombinerat med den växande grödan skapar också ett mikroklimat som är gynnsamt för solpanelerna. Temperaturen runt solpanelerna

blir lägre av grödan, vilket ökar deras effektivitet och ger en högre produktion av el (Campana et al. 2021).

En fördel med odling på fält som är kombinerade med solpaneler är att markremsan som solpanelerna står på kan nyttjas för odling av blommor eller andra växter. För att öka och gynna den biologiska mångfalden i fältet och bryta av från den odlade grödan. Studier visar att det finns större möjlighet att öka den biologiska mångfalden på fälten jämfört med vid traditionell odling (Hussnain et al. 2022; Indo-German Energy Forum 2020).

Det finns många olika faktorer som påverkar hur snabbt grödan växer och hur stor skörden blir. Faktorer som orsakas av omgivningen är solinstrålningen, temperaturen, vind och tillgänglighet av vatten. Produktionsgrödor har tagits fram för maximal skörd, vilket dock resulterar i att de är känsligare för de omgivande faktorerna jämfört med vilda växter (Trommsdorff et al. 2021).

Bland lantbrukare finns en osäkerhet i hur de omgivande faktorerna påverkas i ett agrovoltaiskt system, framförallt en oro över att skördarna kommer minska på grund av skuggning av grödan och att intäkten därmed inte kan täcka investeringen (Trommsdorff et al. 2021). Utformningen och placeringen måste planeras väl för att systemet ska fungera optimalt. Dock visar studien att om skuggningen inte blir för stor, kan grödan kompensera den minskade soltiden med större andel grönmassa för att motverka skördeminskning (Odysseas et al. 2022; Hussnain et al. 2022).

En annan utmaning är att solpanelerna är känsliga. Därför måste det sättas upp skydd för solpanelerna, om det ska gå större betesdjur i anslutning till dem för att solpanelerna inte ska skadas. Även kablar behöver skyddas från djuren.¹ En nackdel med de vertikala solpanelerna är att det inte kommer gå att odla högväxande grödor, exempelvis majs. Eftersom dessa grödor kommer täcka panelerna från solen (Indo-German Energy Forum 2020). En annan svårighet med de vertikala solpanelerna är spridning av gödsel med en fastgödselspridare mellan solpanelerna eftersom det både smutsar ned solpanelerna och kan eventuellt skada dem då de träffas av gödseln. Det kan också påverka spridningsbilden negativt. Att köra ut flytgödsel med en rampspridare istället borde fungera bra.¹

En intressant fördel ur ett svenskt perspektiv är att snön under vintern bidrar med indirekt strålning till solpanelerna, vilket ökar solelproduktionen under vintern då det är färre soltimmar, samtidigt blir även effektiviteten bättre eftersom vädret är kallare. Ytterligare en fördel med vertikala solpanelerna är det låga underhållsbehovet, jämfört med de liggande solpanelerna. Jordpartiklar och annat som kommer med vinden lägger sig inte lika lätt på de vertikala panelerna, vilket minskar behovet av att tvätta dem (Indo-German Energy Forum 2020).

¹ Ulf Andersson, Lantbrukare, Kärrobo Prästgård, intervju 2022-05-07

I tyska försök har det visat sig att risken för jorderosion minskade när solpanelerna står på fälten tillsammans med grödor, speciellt när solpanelerna placeras för att ta upp sol från öst och väst. Utmaningen med att ha solpanelerna vertikalt i rader är att de behöver förstärkas för att klara av de hårda vindarna som kan förekomma. Behovet av förstärkning är störst längs fältets kanter och minskar desto längre in mot mitten av fältet panelerna är placerade (Indo-German Energy Forum 2020).

I en studie undersöktes vilket avstånd mellan solpanelerna som var lämpligt, för att maximera både grödans avkastning och elproduktion. Det konstaterades att optimalt avstånd var 9,2 - 9,7 meter. De grödor som undersöktes var havre och potatis. För havre var 9,2 meter mellan solpanelerna det optimala avståndet och för potatis var det 9,7 meter. Det visade sig även att skörden halverades om avståndet mellan solpanelerna sänktes från 20 till 5 meter (Campana et al. 2021). Andra försök som har gjorts, visade att det optimala avståndet för odling av potatis är 8,5 meter mellan raderna med solpaneler och det optimala avståndet för havre är 9 meter. Oavsett resultaten innebär differensen av det optimala radavståndet ett noga övervägande för vilket radavstånd som väljs för ett en god elproduktion och avkastning av grödan (Bellini 2021a).

Maskinparken har också betydelse för det optimala avståndet. Samma maskiner som används till övrig odling ska helst även fungera att använda till odlingen mellan solpanelerna. Vid avstånd runt 20 meter eller mer blir skillnaderna i skördenivå försumbara jämfört med om det inte är några solpaneler på fältet. Det finns dock även nackdelar med stora avstånd mellan solpanelerna, bland annat blir det en liten kostnadsökning för anslutning till elnätet. Den skördehöjande effekten som skuggan från solpanelerna ger vid torrt väder, uppstår inte vid stora radavstånd. (Bellini 2021a).

Mätningar har gjorts i Italien för att se om kombinationen av solpaneler och produktion av grödor var mer lönsamma än rena solparker. Resultatet visade att den kombinerade solparken gav en bättre lönsamhet. Den huvudsakliga anledningen till det var på grund av skuggan som grödan fick av solpanelerna. Dock kan skugga även vara en negativ faktor likväl som en positiv, beroende på den odlade grödans behov och andelen skugga grödan får (Dinesh & Pearce 2016). Under denna tidsperiod genomfördes försök med olika nivåer av skuggning av grödan. En skuggnivå på 50 procent och en skuggnivå på 70 procent var det som undersöktes i försöket, detta visar att minskningen av strålningseffekten endast var försumbar (Campana et al. 2021).

3. Metod och material

3.1 Litteratursökning

För att hitta relevant litteratur har “Google scholar” och “Primo” använts för att söka information om ämnet. Sökorden “agrivoltaic”, “vertikala solceller”, “Agroforestry” “vertikal odling” samt kombinationer av de olika sökorden har använts. Under informationssökningen har även källor från de artiklar, hemsidor och studier vi läst används för att utöka och bredda informationssökningen. En Word fil med länkar till hemsidor, studier, reportage och artiklar relevanta för ämnet, tillhandahållen av Sven-Erik Svensson, SLU Alnarp har också använts vid informationssökningen. Programmet Sketch-up har använts för att rita en modell som illustrerar ett utförande av solpaneler.

3.2 Beräkningar

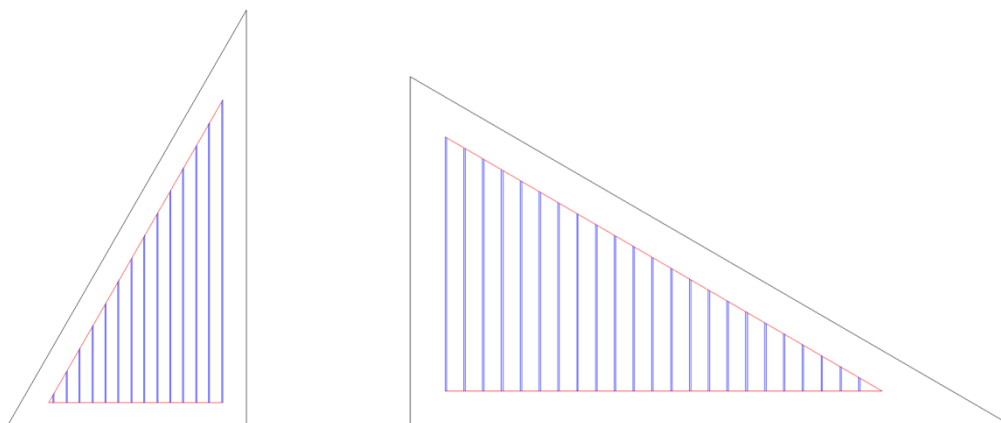
För att göra beräkningarna har programmet Excel använts, dels med hjälp av färdiga Excel-ark för beräkningar av kapaciteten vid fältarbete från Agrimach Multimedia (Agrimach 2000), dels med hjälp av ett egenkonstruerat kalkylark för sammanställning av data.

Med hjälp av de färdiga excelarken beräknades fältens mått utifrån vald fältform och areal. För fältformen rektangel valdes ett längd/bredd förhållande på 1:4. För fältformen triangel valdes en rätvinklig triangel med förhållande 30:60:90 (Agrimach 2000).

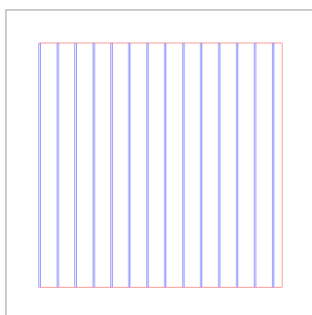
Solpanelerna behöver installeras i rader som löper i nord-sydlig riktning. Eftersom solpanelernas sidor behöver vara mot öst och väst för att få den bästa effektiviteten (Bellini 2021a). Detta styr helt och håller radernas riktning. Oavsett fältform, längd och bredd på fälten, samt vilket väderstreck de är placerade i, kommer raderna alltid läggas i nord-sydlig riktning. För att simulera olika längd och bredd i nord-sydlig respektive öst-västlig riktning har de rektangulära och triangulära fälten roterats 90 grader, se figur 4 och figur 5. De kvadratiska fälten har inte roterats på grund utav att dess längd och bredd är densamma, se figur 6. Därmed finns det två varianter av de rektangulära och triangulära fälten, en variant som är längst i nord-sydlig riktning och en variant som är längst i öst-västlig riktning. Samtliga fält har delats upp i vändteg, rader med solpaneler och utrymmet mellan raderna.



Figur 4: Illustration av fält med formen stående rektangel (vänster) och illustration av fält med formen liggande rektangel (höger). Illustration: Måns Holmqvist



Figur 5: Illustration av fält med formen stående triangel (vänster) och illustration av fält med formen liggande triangel (höger). Illustration: Måns Holmqvist



Figur 6: Illustration av fält med formen kvadrat. Illustration: Måns Holmqvist

För att få en bättre bild av de olika fältformerna och fältstorlekarna ritades samtliga fält upp i programmet AutoCad. För att illustrera vad som är vad på fälten har olika färger på linjerna använts; svart anger den yttre fältgränsen, rött anger gränsen mellan vändteg och drag och blått anger raderna med solpaneler, se figur 4–6. Med hjälp av mätverktygen som finns i programmet kunde areor och

avstånd på vändtegar, rader, radavstånd mm mätas upp och sedan användas till grund för vidare beräkningar i Excel. Enligt Campana et al. (2021) tar varje rad med dubbelsidiga solpaneler upp en meter i bredd, vidare är solpanelernas mått 1,974 x 0,992 meter. Dessa monteras två i höjd (Campana et al. 2021). Detta ger 1,984 kvadratmeter dubbelsidiga solpaneler per radmeter.

Med hjälp av Excel har solpanelsarean per hektar beräknats på varje fält. Den beräknades genom att först beräkna antalet rader på respektive fält. Sedan beräknades radlängden och summerades ihop till en total radlängd från alla rader. Denna summa multiplicerades sedan med faktorn 1,984 som anger hur många kvadratmeter solpaneler det sitter per radmeter. Detta gav det totala antalet kvadratmeter per fält. Den siffran dividerades sedan med fältstorleken för att få fram solpanelsarean per hektar.

Det har också gjorts beräkningar på hur mycket solpaneler det är möjligt att få in på varje fält om syftet är att optimera elproduktionen. Detta för att få en jämförelse hur mycket solpaneler det blir per hektar i rena solelsystem och agrovoltaiska system. I det rena solelsystemet har det antagits att solpanelerna är liggande ensidiga solpaneler. Solpanelerna har en lutning på 30 grader och deras bredd är 3,3 meter (Mahachi & Rix 2016). Detta ger en solpanelsarea på 3,3 kvadratmeter per radmeter. Solpanelerna monteras i rader med solpanelerna åt söder. Radavståndet har satts till 10 meter (Solkompaniet 2022). Radavståndet beräknas från framsidan på solpanelen till framsidan på nästa rad med solpaneler, vilket innebär att solpanelernas bredd är inräknat i radavståndet (Mahachi & Rix 2016). Det avstånd som är mellan solpanelerna blir 6,7 meter. Solpanelsarean per hektar har beräknats på samma sätt som för de stående solpanelerna. Den enda skillnaden är att faktorn 3,3 har använts istället för 1,984. Värdena från dessa beräkningar redovisas i tabell 1. I resultatet redovisas en procentuell jämförelse mellan fält som endast är avsett för elproduktion med maximalt antal solpaneler per hektar och agrovoltaiska system där antalet solpaneler per hektar beror på radavstånd och fältform.

Tabell 1: Referensvärden för liggande solpaneler i ett system optimerat för elproduktion

Liggande solpaneler (referens)

Solpanelsarea per skifte och hektar (m²/ha)	5 ha	10 ha	50 ha
<i>Rektangel, stående</i>	3248	3290	3291
<i>Rektangel, liggande</i>	3241	3133	3263
<i>Kvadrat</i>	3241	3237	3267
<i>Triangel, stående</i>	3379	3356	3325
<i>Triangel, liggande</i>	3438	3020	3343

Samma maskiner som används till den ”vanliga odlingen” ska lantbrukaren kunna använda för att odla mellan solpanelerna (Bellini 2021a). Detta har legat till grund för valet av radavstånd. Tre olika arbetsbredder har undersökts; 12, 24 och 36 meter. Detta är standardbredder för växtskyddssprutor. I ett konventionellt

odlingssystem är sprutan oftast det bredaste redskapet som används och därför måste den komma in mellan solpanelerna. För 12 och 24 meters systemen har vändtegens bredd satts till 24 meter. För 36 meters systemet är vändtegen 36 meter. Eftersom varje rad med solpaneler tar upp en halvmeter yta på varje sida om raden (Campana et al. 2021), blir det faktiska radavståndet mellan solpanelerna 13, 25 respektive 37 meter. De olika varianterna benämns dock i fortsättningen 12, 24 respektive 36 meters systemet efter den maximala arbetsbredden på maskinerna som är möjlig.

Med hjälp av de färdiga excelarken har kapaciteten för de olika fältarbetena på respektive fält beräknats (Agrimach 2000). Kapaciteten har beräknats utifrån arbetsbredderna som redovisas i tabell 2. Det har även beräknats ett referensvärde för vad kapaciteten blir på motsvarande fält utan solpaneler för samtliga fältarbeten. Värdena har sedan sammanställts i fem tabeller: sprutning, konventionell jordbearbetning (plöjning och harvning), reducerad jordbearbetning (tallriksredskap och kultivator), såmaskiner (universalsåmaskin och direktsåmaskin) samt referensvärden. Skillnaden i kapacitet mellan fält med solpaneler och motsvarande fält utan solpaneler (referensfält) har beräknats för varje fältarbete, denna skillnad anges i procent. Dessa beräkningar, utom sprutan redovisas i bilaga 2–4. Utifrån dessa har sedan den totala kapaciteten för respektive jordbearbetningssystem per fält sammanställts i tabell 4. Kapaciteten för sprutan redovisas i en separat tabell i bilaga- Detta eftersom den inte är en jordbearbetningsmaskin och det antas att sprutningen utförs på samma sätt oavsett system. För denna sammanställning av jordbearbetningssystemen har också skillnaden mot referensvärden beräknats och resultatet redovisar skillnaden i procent. Referensvärdena finns redovisade i bilaga 1 och bilaga 5.

De tre olika radavstånden är tänkta att representera och vara anpassade efter lantbruk av olika storlek, samt en maskinpark som är rimlig utifrån storleken. Radavståndet på 12 meter är tänkt att illustrera ett mindre lantbruk med 80–100 hektar åker, 24 meter ett medelstort lantbruk med 200–400 hektar åker och 36 meter ett stort lantbruk med 600–800 hektar åker.

Tabell 2: Sammanställning av arbetsbredd och storlek på maskinerna

	Mindre	Medel	Stort
Spruta	12 m, 1200 l tank	24 m, 4000 l tank	36 m, 6000 l tank
Plog	4-skärig växel, buren	6-skärig växel, buren	9-skärig växel, delburen
Harv	6 m	9 m	12 m
Tallriksredskap	4 m	6,5 m	9,2 m
Kultivator	4 m	6 m	8,7 m
Universalsåmaskin, kombi	3 m	4 m	6 m
Direktsåmaskin, singel	3 m	4 m	6 m

För sprutan har det i samtliga fall antagits att vätskemängden är 200 liter per hektar, körhastigheten är 7 kilometer i timmen, att avståndet mellan fält och fyllnadsplats är 500 meter och att körhastigheten på väg är 40 kilometer i timmen (Transportstyrelsen 2022). För 12 meters sprutan har det antagits att det sprutas 70

hektar innan tanken rengörs eller töms och att fyllningskapaciteten är 100 liter per minut. För 24 meters sprutan har det antagits att det sprutas 180 hektar innan tanken rengörs eller töms och att fyllningskapaciteten är 200 liter per minut. För 36 meters sprutan har det antagits att det sprutas 400 hektar innan tanken rengörs eller töms och att fyllningskapaciteten är 300 liter per minut.

För plogen har det i samtliga fall antagits att körhastigheten i fält är 7 kilometer i timmen, för harven är den 10 kilometer i timmen, för tallriksredskapet är den 12 kilometer i timmen och för kultivatoren är den 10 kilometer i timmen. För universalsåmaskinen har hastigheten antagits vara 12 kilometer i timmen och för direktsåmaskinen 10 kilometer i timmen. För båda såmaskinerna har det antagits att fyllning sker vid fältkant. Det har antagits att båda såmaskinerna rymmer 350 kilo utsäde per meter arbetsbredd och utsädesgivan är 175 kilo per hektar. För universalsåmaskinen har det antagits att den rymmer 375 kilo gödning per meter arbetsbredd och gödningsgivan är 300 kilo per hektar.

4. Resultat

Resultatet visar på följande gällande solpanelerna (se tabell 3):

- Det blir mer kvadratmeter med solpaneler per fält och per hektar desto smalare avståndet är mellan panelerna.
- Skillnaden mot referensfälten (tabell 1) avseende solpaneler per hektar är i genomsnitt -63,5 procent för samtliga fält i 12 metersystemet, vilket kan jämföras med -82,5 procent för samtliga fält i 24 metersystemet och -90 procent i 36 metersystemet.
- Större fält har mer kvadratmeter solpaneler per hektar jämfört med små fält.
- Skillnaden mot referensfälten (tabell 1) är mindre på de stora fälten än på de små. I 24 metersystemet är det i medeltal 678 kvadratmeter solpaneler per hektar på 50-hektarsfälten, vilket kan jämföras med 473 kvadratmeter solpaneler per hektar i medeltal på 5-hektarsfälten.
- Fält med kvadratisk fältform har den största andelen solpaneler per fält och per hektar.
- Minst andel har fält som har fältformen liggande rektangel och i några fall stående triangel samt liggande triangel.

Tabell 3: Solpanelsarea per hektar beroende på maskinsystemets bredd, fältets form och storlek, samt skillnaden i procent jämfört med ett fält optimerat för elproduktion (tabell 1). Grönmarkerade rutor visar de högsta värdena och rödmarkerade rutor de lägsta värdena

Solpanelsarea per hektar (m ² /ha)	12 meterssystem			24 meterssystem			36 meterssystem		
	5 ha	10 ha	50 ha	5 ha	10 ha	50 ha	5 ha	10 ha	50 ha
<i>Rektangel, stående</i>	791	1044	1299	474	580	704	297	334	426
<i>Skillnad mot referens</i>	-76%	-68%	-61%	-85%	-82%	-79%	-91%	-90%	-87%
<i>Rektangel, liggande</i>	786	983	1286	406	525	667	174	273	414
<i>Skillnad mot referens</i>	-76%	-69%	-61%	-87%	-83%	-80%	-95%	-91%	-87%
<i>Kvadrat</i>	974	1118	1334	557	586	706	301	339	454
<i>Skillnad mot referens</i>	-70%	-65%	-59%	-83%	-82%	-78%	-91%	-90%	-86%
<i>Triangel, stående</i>	858	1034	1294	475	560	637	235	312	383
<i>Skillnad mot referens</i>	-75%	-69%	-61%	-86%	-83%	-81%	-93%	-91%	-88%
<i>Triangel, liggande</i>	835	1017	1286	451	542	675	214	293	419
<i>Skillnad mot referens</i>	-76%	-66%	-62%	-87%	-82%	-80%	-94%	-90%	-87%

Resultatet visar på följande gällande kapaciteten (se tabell 4):

- Kapaciteten vid fältarbeten är i samtliga fall bäst på fält med fältformen stående rektangel, jämfört med referensfältet (bilaga 1).
- Sämst kapacitet har de fält med fältformen liggande rektangel och i några fall liggande triangel jämfört med referensfältet (bilaga 1).
- Kapaciteten försämras mest jämfört med referensfälten i systemet med reducerad bearbetning.
- Direktsådd har minskning i kapacitet jämfört med referensfälten (bilaga 1)

Tabell 4: Kapaciteten i hektar per timme för spruta och de olika etableringssystemen beroende på maskinsystemets bredd, fältets form och storlek, samt skillnaden i procent jämfört med ett fält utan solpaneler (bilaga 1).

Grönmarkerade rutor visar de högsta värdena, rödmarkerade rutor de lägsta värdena. Vita rutor med röd text visar den största skillnaden i procent

Kapacitet (ha/tim)	12 metersssystem			24 metersssystem			36 metersssystem		
	5 ha	10 ha	50 ha	5 ha	10 ha	50 ha	5 ha	10 ha	50 ha
Spruta									
Rektangel, stående	4,45	4,6	4,76	7,86	8,29	8,7	10,25	10,94	11,61
Skillnad mot referens	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Rektangel, liggande	4,04	4,29	4,61	7,22	7,77	8,44	9,52	10,34	11,3
Skillnad mot referens	-9,21%	-6,74%	-3,15%	-8,14%	-6,27%	-2,99%	-7,12%	-5,48%	-2,67%
Kvadrat	4,31	4,49	4,71	7,64	8,11	8,61	10	10,73	11,5
Skillnad mot referens	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Triangel, stående	4,28	4,48	4,7	7,61	8,08	8,6	9,96	10,7	11,49
Skillnad mot referens	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Triangel, liggande	4,08	4,32	4,62	7,28	7,82	8,46	9,58	10,39	11,32
Skillnad mot referens	-4,67%	-3,57%	-1,70%	-4,34%	-3,22%	-1,63%	-3,82%	-2,90%	-1,48%
Konventionell bearbetning									
Rektangel, stående	0,4	0,41	0,44	0,55	0,57	0,6	0,76	0,79	0,83
Skillnad mot referens	-2,65%	-2,06%	-0,82%	-1,91%	-1,89%	-0,81%	-1,49%	-1,72%	-0,85%
Rektangel, liggande	0,3	0,33	0,39	0,42	0,47	0,54	0,57	0,64	0,75
Skillnad mot referens	-27,52%	-21,28%	-11,80%	-25,53%	-19,95%	-11,17%	-25,12%	-20,12%	-11,01%
Kvadrat	0,36	0,38	0,42	0,49	0,53	0,58	0,68	0,74	0,8
Skillnad mot referens	-7,01%	-5,23%	-2,95%	-5,49%	-3,78%	-2,12%	-4,81%	-2,70%	-2,61%
Triangel, stående	0,34	0,37	0,4	0,49	0,52	0,56	0,67	0,71	0,78
Skillnad mot referens	-9,52%	-7,9%	-6,18%	-4,59%	-3,75%	-3,31%	-3,51%	-3,83%	-2,37%
Triangel, liggande	0,3	0,32	0,37	0,42	0,46	0,52	0,59	0,65	0,73
Skillnad mot referens	-20,85%	-19,19%	-12,44%	-16,98%	-14,19%	-9,70%	-15,31%	-12,30%	-8,96%
Reducerad bearbetning									
Rektangel, stående	0,6	0,6	0,7	0,9	0,9	0,9	1,2	1,3	1,4
Skillnad mot referens	-8,33%	-7,49%	-4,64%	-5,48%	-5,28%	-4,19%	-4,18%	-5,15%	-2,78%
Rektangel, liggande	0,37	0,43	0,54	0,57	0,65	0,8	0,84	0,95	1,17
Skillnad mot referens	-42,85%	-35,99%	-21,89%	-37,32%	-30,64%	-18,09%	-35,02%	-29,48%	-16,24%
Kvadrat	0,49	0,53	0,62	0,72	0,79	0,88	1,09	1,15	1,28
Skillnad mot referens	-20,09%	-17,04%	-8,88%	-16,08%	-12,71%	-8,26%	-11,33%	-11,30%	-7,12%
Triangel, stående	0,44	0,49	0,54	0,74	0,77	0,84	1,12	1,13	1,25
Skillnad mot referens	-27,48%	-23,30%	-20,29%	-13,62%	-14,50%	-11,80%	-7,73%	-11,82%	-9,02%
Triangel, liggande	0,36	0,36	0,47	0,6	0,63	0,74	0,95	1	1,11
Skillnad mot referens	-41,11%	-43,45%	-30,40%	-29,60%	-29,35%	-22,47%	-22,41%	-22,27%	-19,19%
Direktsådd									
Rektangel, stående	2,03	2,1	2,18	2,58	2,66	2,76	3,46	3,59	3,73
Skillnad mot referens	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Rektangel, liggande	1,75	1,88	2,07	2,23	2,39	2,62	3,05	3,27	3,57
Skillnad mot referens	-13,79%	-10,48%	-5,05%	-13,57%	-10,15%	-5,07%	-11,85%	-8,91%	-4,29%
Kvadrat	1,93	2,02	2,14	2,45	2,56	2,71	3,31	3,48	3,68
Skillnad mot referens	0,52%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Triangel, stående	1,91	2,01	2,13	2,43	2,55	2,7	3,29	3,46	3,67
Skillnad mot referens	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Triangel, liggande	1,77	1,9	2,08	2,26	2,42	2,63	3,08	3,29	3,58
Skillnad mot referens	-7,33%	-5,47%	-2,35%	-7,00%	-5,1%	-2,59%	-6,38%	-4,91%	-2,45%

Resultatet visar att de fält som är lämpligast att placera solpaneler på är fält som medger god kapacitet vid fältarbete samtidigt som det går att placera mycket solpaneler på fältet.

Fält med kvadratisk fältform är de fält som ger mest solpaneler per hektar. Detta beror på att det blir långa rader med solpaneler och det blir en liten andel mark som inte kan utnyttjas för att placera solpaneler på eftersom vändtegen tar upp minst yta vid den kvadratiske fältformen. De kvadratiske fälten är även de fälten som har den näst bästa kapaciteten och näst minst skillnad i kapacitet jämfört med referensfälten. Fälten som hade bäst kapacitet var de med formen stående rektangel, dessa fält är näst bäst sett till andel solpaneler per hektar. Anledningen till att denna fältform gav bäst kapacitet beror på att raderna är långa, vilket ger ett litet antal vändningar med ekipaget. Detta leder till en effektiv körning. Ett undantag är fältet på 5 hektar med 12 meters radavstånd som kapacitetsmässigt är näst sämst. Fält med formen stående triangel hamnar på en tredjeplats kapacitetsmässigt och i skillnad jämfört med referensfälten. De hamnar också på en tredjeplats sett till andelen solpaneler per hektar. Dessa fält har ett antal långa rader, de har också en stor del korta rader. På de långa raderna blir kapaciteten mycket hög, på de korta raderna blir den mycket låg och vändningarna drar ner kapaciteten. Det undantag som finns för fältformen stående triangel är fältet på 5 hektar med 12 meters radavstånd som är näst bäst och fälten på 50 hektar med 24 respektive 36 meters radavstånd som är sämst.

Resultatet visar tydligt att fälten med formerna liggande rektangel, respektive triangel ligger i botten både gällande kapaciteten och andel solpaneler per hektar. Anledningen till detta är att raderna med solpaneler blir korta, vilket minskar dess optimering samtidigt som ekipaget kör korta drag mellan solpanelerna och stor del av fältet utgörs av vändteg. Alla dessa aspekter tillsammans har en omfattande påverkan på kapaciteten. Vad gäller andelen solpaneler per hektar finns det några undantag. För fältformen liggande triangel är det fälten på 50 hektar med 24 respektive 36 meters radavstånd som är tredje bäst. Bäst förhållande mellan kapacitet och solpaneler per hektar blir på fältformerna stående rektangel och kvadrat. Stående rektangel är dock sämre vid 12 meters radavstånd och 5 hektar storlek. Andelen solpaneler per hektar och effektiviteten är bättre på de stora fälten än på de små. Skillnaden i kapacitet jämfört med referensfälten är också minst på de stora fälten

Att skillnaden i maskinkapacitet jämfört med referensfälten är stor i det plöjningsfria systemet kan förklaras med att körningen med de redskap som används där (kultivator och tallriksredskap, se bilaga 3) sker lite snett mot radriktningen. Detta medför att en del vändningar kommer ske mot raderna av solpaneler och inte alltid ute på vändtegen, vilket tar mycket tid och sänker kapaciteten. I det plöjda systemet sänks kapaciteten för harvningen av samma anledning, se bilaga 2. Men eftersom plöjningen kan ske åt samma håll som raderna sänks inte kapaciteten för det momentet, vilket gör att hela det konventionella systemets effektivitet blir bättre än systemet med reducerad bearbetning.

För de andra redskapen påverkas kapaciteten inte i lika hög grad av att ha solpaneler på fälten. Det är främst de liggande fälten där raderna är placerade på tvären mot den optimala körriktningen där kapaciteten påverkas mest. I två fall med tre meters universalsåmaskin, se bilaga 4, och i ett fall med tre meters direktsåmaskin, se tabell 4, blev effektiviteten marginellt högre jämfört med referensfälten. Anledningen till detta är att tre meters maskinerna behöver så åtta varv runt vändtegen för att det ska bli 24 meter brett utanför raderna. Jämfört med referensfälten där det bara sås sex varv, vilket är 18 meter brett, men tillräckligt för att kunna vända på vändtegen. Dessa två extra varv gör att lite mindre tid går åt vändningar. Skillnaden är dock mycket liten och troligen försumbar i ett större perspektiv.

5. Diskussion

Dagens samhälle lever över jordens tillgångar därför är det viktigt att försöka hitta nya alternativa lösningar till att producera de nödvändigheter som konsumeras dagligen. Hela vårt samhälle är mycket beroende av el, både företagare, industrier och privatpersoner. Utöver de materiella ting som tillverkas för konsumenterna, konsumeras det även stora mängder livsmedel varje dag. Tillsammans med el kan livsmedel vara de två viktigaste faktorerna i samhället. Eftersom behovet av el och mat kommer att bli allt större i takt med att befolkningen ökar, är det viktigt att hitta hållbara lösningar. Även undersökningar av dess funktionalitet måste genomföras noga innan storskalig etablering. För att inte pengar och tid ska läggas ner på något som inte har en rimlig effekt. Frågan är om ett agrovoltaiskt system kan vara en del av lösningen på det ökade behovet av livsmedel och elektricitet.

Resultatet från beräkningarna som gjorts i arbetet visar att det kan bli stor skillnad på hur kapaciteten vid fältarbete påverkas och hur mycket solpaneler som är möjligt att sätta upp på ett fält beroende på fältstorlek, solpanelernas radavstånd och fältform. Stora fält ger oavsett fältform och solpanelernas radavstånd högre kapacitet och mer solpaneler per hektar än motsvarande fältform med en mindre areal. Förklaringen till detta är att vändtegen tar upp en större del av arealen på de små fälten jämfört med de stora fälten. Eftersom inga solpaneler placeras på vändtegen är det därmed en större andel av fältet som inte har solpaneler, vilket drar ned andelen solpaneler per hektar på de små fälten.

I resultatet finns det vissa värden som sticker ut och inte följer ett logiskt mönster. Vad detta beror på vet vi inte riktigt. Vi antar att det kan bero på någon felkälla eller ett felaktigt värde i någon beräkning. Då det har gjorts väldigt många beräkningar och då beräkningarna i Excel är gjorda och länkade till varandra i många steg är det möjligt att ett felaktigt värde hamnat någonstans och skapat ett följdfel. De kalkylark vi använt från Agrimach (2000) är ganska begränsade i sin utformning och vilka värden som går att räkna fram. Kalkylarken är inte byggda för att beräkna kapaciteten vid fältarbeten i ett agrovoltaiskt odlingssystem och även det kan vara en felkälla. Resultatet bör därför användas med försiktighet.

Skuggningseffekten, som tas upp av Bellini (2021a), Campana et al. (2021), Hussnain et al. (2022) och Odysseas et al. (2022) antas inte påverka skörden i någon större utsträckning eftersom radavstånden är stora. Radavstånden är mycket större än de radavstånd som visade ge störst effekt av skuggningen, vilket var 9 meter mellan raderna med solpaneler. I detta arbete används radavstånd på 13, 25 och 37 meter mellan solpanelerna. Det är möjligtvis i det smalaste systemet som skuggning skulle kunna ge effekt. Men i de två bredare systemen går det troligen inte att se någon skuggeffekt, vilket överensstämmer med Bellini (2021a).

Det bör poängteras att den kombinerade produktionen i ett agrovoltaiskt system ej ger maximal odlingsyta eller maximal effektivitet på solparken, utan det blir en kompromiss av de båda som leder till en produktion av två nyttor på samma yta.

Jämförs en effektiviserad solpark med kombinationen av elproduktion och odling, resulterar det i 63,5 procent mindre solpanelsyta i ett 12 metersystem, 82,5 procent mindre i ett 24 metersystem och 90 procent mindre i ett 36 metersystem. Däremot gör den kombinerade produktionen att svängningar på marknaden inte påverkar producenten lika mycket, eftersom om exempelvis spannmålspriserna skulle sjunka, kan elproduktionen bidra med intäkter. Därmed blir summan av produktionen stabilare då det finns två inkomstkällor.

Det finns lite information, försök och studier på andra grödor än vall när det kommer till kombinerad odling och elproduktion. Arbetet som har gjorts berör spannmålsgrödor, dock är principen densamma för fältarbete mellan solpanelerna oavsett gröda. Även om redskapen som används och antalet överfarterna kan skilja sig mycket åt. Därför är hypotesen att resultatet hade sett liknande ut för andra grödor än spannmål, med hänsyn till att vissa parametrar beroende på gröda kommer att skiljas från de resultat som detta arbete visar. Sedan är det viktigt att ha i åtanke att studier på andra grödor och hur dess samexistens med solpaneler påverkas är mycket begränsad.

På grund av att denna kombination av solpaneler och odling är ett nytt produktionssätt i Sverige och det fortfarande befinner sig i försöksstadium kan det vara fördelaktigt att göra en mer storskalig, än det försök som utförs på Kärro Prästgård utanför Västerås. Detta för att bättre kunna veta hur systemet kan fungera i större skala. Studier som saknas i dagsläget på detta system är bland annat ekonomiska kalkyler över systemets lönsamhet vid odling av olika grödor än vall samt hur skörden och kapaciteten vid fältarbeten påverkas.

Det finns även andra mer praktiska aspekter som behöver undersökas och testas mer ingående. Solpanelerna är känsliga och kan ta skada från betesdjur och gödselspridning med fastgödselspridare.² Även andra typer av maskiner kan riskerna att skada solpanelerna. Exempelvis vid vallskörd finns en risk att stenar eller jord slungas upp av slätterkrossen och träffar solpanelerna. Även vid gödningspridning med kastspridare då gödningskornen slungas i hög fart mot solpanelerna, skulle dessa kunna ta skada. Att sprida gödning med kastspridare mellan raderna med solpaneler kommer troligtvis också att ge en mycket ojämn och dålig spridningsbild eftersom kastspridarens teknik bygger på att spridningen överlappar intilliggande drag. Med tanke på de just nu (2022) extremt höga priserna på växtnäring är en jämn spridningsbild extremt viktig. Därför är kastspridare troligen olämpligt att använda i detta system. En rampspridare borde vara mer lämplig eftersom dess spridningsteknik inte bygger på att den ska överlappa mellan dragen.

Vid körning mellan raderna är 0,5 meter som finns på varje sida om solpanelerna inte speciellt stor vingelmån, framförallt inte med en spruta eller en rampspridare. Även breda jordbearbetningsredskap har liten plats till godo. Att köra in i solpanelerna kan bli kostsamt med både skador på solpaneler och på maskiner.

² Ulf Andersson, Lantbrukare, Kärro Prästgård, intervju 2022-05-07

Därför är GPS-styrning en förutsättning för att detta system ska fungera ihop med större lantbruksmaskiner. Hög noggrannhet exempelvis Real Time Kinematic (RTK) är något som behövs för att kunna hålla sig i exakt rätt spår. GPS-styrningen är också nödvändig för att kunna köra effektivt och hålla en hög kapacitet. GPS-styrningen kan användas i alla av de tre undersökta etableringssystemen.

En annan aspekt som kan vara intressant att undersöka mer är hur raderna med solpaneler påverkar vindavdriften vid sprutning. Eftersom solpanelerna placeras i nord-sydlig riktning och den förhärskande vindriktningen i de flesta fall är västlig eller syd-västlig borde solpanelerna ha en viss lä-effekt när det blåser. Detta borde dels kunna minska risken för vindavdrift och dels möjliggöra sprutning vid högre vindhastigheter än normalt. Tätare avstånd borde kunna ge större lä-effekt än glesare avstånd. Ett rimligt antagande är därför att lä-effekten är störst i tolvometersystemet. Dock saknas studier på detta.

Att använda markremsan som solpanelerna tar upp för att odla olika växter som kan gynna den biologiska mångfalden (Hussnain et al. 2022; Indo-German Energy Forum 2020) är intressant då det kan ge fördelar. Exempelvis kan det gynna nyttoinsekter som pollinerare eller insekter som motverkar skadegörare. Detta kan leda till en ökad skörd och minskad användning av växtskyddsmedel. Detta är bra dels, ur ett ekonomiskt perspektiv eftersom intäkterna ökar och kostnaderna minskar och dels ur ett miljömässigt perspektiv då en högre skörd ger en mer effektiv markanvändning och en minskad användning av växtskyddsmedel kan vara positiv. Ur ett socialt perspektiv kan det även vara fint med något annat som växer och bryter av från den odlade grödan. En annan aspekt att ha i åtanke är risken för att växterna som växer på remsan sprutas ihjäl när grödan intill ogräsbekämpas. Att hela remsan skulle sprutas ihjäl är troligen en liten risk, då handlar det om att sprutan skulle överlappa en halvmeter. Det troligaste är att någon decimeter eller två på varje sida träffas av sprutduschen, detta är troligen försumbart. För att i största mån undvika att spruta ihjäl det som växer på remsan bör sprutningen utföras när vädret är rätt och munstycken som minskar avdriften väljas. Men preparatval och dos har antagligen också betydelse.

För att kombinationen av elproduktion och odling ska etableras i Sverige är det viktigt att tillämpningen kan göras tillräckligt attraktiv och intressant för lantbrukare att investera i. För att det ska vara möjligt att satsa på ett agrovoltaiskt system krävs rätt förutsättningar. Det behöver finnas fält som är rektangulärt eller kvadratisk formade. Fälten behöver ligga i rätt väderstreck för att kunna placera raderna av solpaneler i nord-sydlig riktning. Det behövs en maskinpark som är lämplig för ett system med fasta körspår. Utifrån detta behöver sedan lämpligt radavstånd mellan solpanelerna väljas, vilket i huvudsak styrs av maskinernas arbetsbredd. Oavsett planering och utförande kommer alltid viss del åkermark tas i anspråk även i agrovoltaiska system, andelen mark som tas i anspråk är större ju tätare avståndet mellan panelerna är. Men andelen åkermark som tas i anspråk är ganska marginell för samtliga av de undersökta radavstånden (se bilaga 6). Detta arbete illustrerar att fältformen är viktigare än storleken. Även om fälten inte är de

största, kan det ändå vara en lönsam investering om fälten är lämpligt utformade. Att kunna få ut två nyttor av samma markyta är mycket relevant i dagsläget.

Om denna studie skulle göras om hade vi istället för att enbart göra beräkningar av hur kapaciteten påverkas, även velat genomföra någon form av fältförsök med olika redskap och arbetsbredder. Om vi hade haft mer tid hade det också varit intressant att analysera de ekonomiska aspekterna och hur ekonomin ser ut för ett agrovoltaiskt system jämfört med ren odling och ett system optimerat för elproduktion.

Slutsatser:

- Av de undersökta fältformerna är stående rektangel och kvadrat de mest lämpliga för ett agrovoltaiskt system.
- Fältets form har störst betydelse för hur effektiviteten påverkas när odling kombineras med elproduktion. Fältstorleken har inte lika stor betydelse.
- Av de jämförda jordbearbetnings- och etableringsmetoderna är direktsådd det system som har lägst minskning av kapaciteten av de undersökta systemen.
- Det reducerade systemet får störst minskning av maskinkapaciteten på grund av att vändning med maskinerna ibland sker mellan raderna av solpaneler och inte alltid på vändtegen.
- Solpanelernas skördepåverkande effekt bedöms enligt litteraturen som marginell på de undersökta radavstånden under svenska förhållanden.

8. Referenser

- Agrimach. (2000). *Agrimach- multimedia Info 2000*,
<http://www.agrimach.com/en> [2022-05-06]
- Bellini, E. (2021a). Optimizing algorithm for vertical agrivoltaics. *PV Magazine*. 30 April.
<https://www.pv-magazine.com/2021/04/30/optimization-algorithm-for-vertical-agrivoltaics/> [2022-04-04].
- Bellini, E. (2021b). Japan releases new guidelines for agrivoltaics as installations hit 200 MW. *PV Magazine*. 13 December.
<https://www.pv-magazine.com/2021/12/13/japan-releases-new-guidelines-for-agrivoltaics-as-installations-hit-200-mw/> [2022-04-07]
- Campana, P., Stridh, B., Amaducci, S. och Colauzzi, M. (2021). Optimization of vertically mounted agrivoltaic systems. *Journal of Cleaner Production*. 325 (2021) 129091.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129091>
- CSUExtension. (2020). *Agrivoltaics: Specialty Crops Field Day*. [Video].
<https://www.youtube.com/watch?v=ER3fAY5uYbw> [2022-04-07]
- Dinesh, H. och Pearce J. M., (2016). The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 54, 299-308.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024Get>
- Ferrell, M. (2021). *Solar Panels Plus Farming? Agrivoltaics Explained*. [Video].
<https://www.youtube.com/watch?v=lgZBID-TCFE> [2022-04-07].
- Hussnain, Riaz, M., Irman, H., Alam, H., Ashraful, Alam, M. och Zafar, butt, N. (2022). Crop-specific optimization of bifacial PV arrays for agrivoltaic food-energy production: the light-productivity-factor approach. *IEEE Journal of photovoltaics*. (2022). 12.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9674806>
- Indo-German Energy Forum. (2020). *Vertical Agrivoltaics in Europe by Sasha Krause-Tuenker*. [Video].
<https://www.youtube.com/watch?v=6mEXjiG4GM> [2022-04-04].
- Mahachi, T. och Rix, A. J. (2016). Energy yield analysis and evaluation of solar irradiance models for utility scale solar PV plant in South Africa. *ResearchGate*.
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.17960.72969> [2022-05-03]
- Naturskyddsforeningen. (2022). *Vad är agroforestry?*
<https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/vad-ar-agroforestry/?gclid=Cj0KCQjwyMiTBhDKARIsAAJ->

[9VvUpXLdMZS3r_XbSJewaGJfYoEO-UFkwAQIC4vEge-0J-S0lsQ-REkaAjUAEALw_wcB](#) [2022-05-04]

Odysseas A. K., Hesani, Z. och Olindo, I. (2022). Integration of bifacial photovoltaic system: a synergistic design approach. *Applied Energy*. 309, 118475. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118475>

Solkompaniet. (2022). *Siffror och solceller på marken*. <https://solcellerpamarken.se/solel-per-hektar/> [2022-05-05]

Solkompaniet (u.å.). *Olika typer av solelparker*. <https://solcellerpamarken.se/olika-typer-av-solelparker/> [2022-05-04]

Transportstyrelsen. (2022). *Traktor*. <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/fordon/fordonsregler/traktor/> [2022-06-01]

Trommsdorff, M., Gruber, S., Keinath, T., Hopf, M., Hermann, C., Schönberger, F., Högy, P., Zikeli, S., Ehmann, A., Weselek, A., Bodmer, U., Rösch, C., Ketzer, D., Weinberger, N., Schindele, S. och Vollprecht, J. (2020). *Agrivoltaics: opportunities for agriculture and the energy transition - a guideline for Germany*. (First Edition, October 2020). Freiburg: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/APV-Guideline.pdf>

Trommsdorff, M., Kang, J., Reise, C., Schindele, S., Bopp, G., Ehmann, A., Weselek, A., Högy, P. och Oberfell, T. (2021). Combining food and energy production: Design of an agrivoltaic system applied in arable and vegetable farming in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 140, (2021) 110694. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110694>

Vetenskapsradion Klotet. (2021). Solenergi på frammarsch konkurrerar med odling av mat. [Radioprogram]. Sveriges Radio P1, 15 december. <https://sverigesradio.se/avsnitt/solenergi-pa-frammarsch-konkurrerar-med-odling-av-mat> [2022-04-04]

Wallnér, E. (2020). Uppfinnaren Per om hur han byggde en egen solpark med solföljare. *Solcellskollen*. [Blogg]. 10 december. <https://www.solcellskollen.se/blogg/uppfinnaren-per-om-hur-han-byggde-en-egen-solpark-med-solfoljare> [2022-05-04]

9. Bilagor

Bilaga 1

Kapacitet (ha/tim)	12 metersssystem			24 metersssystem			36 metersssystem		
Spruta	5 ha	10 ha	50 ha	5 ha	10 ha	50 ha	5 ha	10 ha	50 ha
<i>Rektangel</i>	4,45	4,6	4,76	7,86	8,29	8,7	10,25	10,94	11,61
<i>Kvadrat</i>	4,31	4,49	4,71	7,64	8,11	8,61	10	10,73	11,5
<i>Triangel</i>	4,28	4,48	4,7	7,61	8,08	8,6	9,96	10,7	11,49
Konventionell bearbetning									
<i>Rektangel</i>	0,41	0,42	0,44	0,56	0,58	0,6	0,77	0,8	0,84
<i>Kvadrat</i>	0,39	0,4	0,43	0,52	0,55	0,59	0,71	0,76	0,82
<i>Triangel</i>	0,38	0,4	0,42	0,51	0,54	0,58	0,69	0,74	0,8
Reducerad bearbetning									
<i>Rektangel</i>	0,65	0,66	0,69	0,91	0,94	1,0	1,29	1,3	1,40
<i>Kvadrat</i>	0,61	0,6	0,68	0,86	0,90	0,96	1,23	1,29	1,37
<i>Triangel</i>	0,61	0,6	0,67	0,85	0,89	0,95	1,22	1,29	1,4
Direktsådd									
<i>Rektangel</i>	2,03	2,1	2,18	2,58	2,66	2,76	3,46	3,59	3,73
<i>Kvadrat</i>	1,92	2,02	2,14	2,45	2,56	2,71	3,31	3,48	3,68
<i>Triangel</i>	1,91	2,01	2,13	2,43	2,55	2,7	3,29	3,46	3,67

Referensvärden för kapaciteten vid fältarbete på fält utan solpaneler (hektar per timme), för sprutning och de olika etableringssystemen, beroende på maskinsystemets bredd, fältform och fältstorlek.

Bilaga 2

Kapacitet (ha/tim)

Konventionell bearbetning

Plog	12 metersssystem			24 metersssystem			36 metersssystem		
	5 ha	10 ha	50 ha	5 ha	10 ha	50 ha	5 ha	10 ha	50 ha
Rektangel, stående	0,69	0,72	0,75	0,94	0,98	1,03	1,22	1,3	1,38
Skillnad mot referens	-1,43%	0,00%	0,00%	-1,05%	-1,01%	0,00%	-2,40%	-0,76%	0,00%
Rektangel, liggande	0,55	0,61	0,69	0,75	0,83	0,95	0,97	1,08	1,26
Skillnad mot referens	-21,43%	-15,28%	-8%	-21,05%	-16,16%	-7,77%	-22,4%	-17,56%	-8,7%
Kvadrat	0,64	0,68	0,73	0,87	0,92	1	1,13	1,22	1,34
Skillnad mot referens	-1,54%	0%	0%	-1,14%	-1,08%	0%	-1,74%	-0,81%	0%
Triangel, stående	0,62	0,66	0,72	0,84	0,9	0,98	1,09	1,17	1,3
Skillnad mot referens	-1,59%	-1,49%	0%	-1,18%	0%	0%	-1,8%	-1,68%	0%
Triangel, liggande	0,56	0,61	0,69	0,75	0,83	0,94	0,97	1,08	1,24
Skillnad mot referens	-11,11%	-8,96%	-4,17%	-11,76%	-7,78%	-4,08%	-12,61%	-9,24%	-4,62%

Harv

Rektangel, stående	4,45	4,53	5,07	6,67	6,95	7,50	9,54	9,27	10
Skillnad mot referens	-10,92%	-12,04%	-4,80%	-7,89%	-7,93%	-5,06%	0,00%	-7,40%	-5,12%
Rektangel, liggande	2,38	2,81	3,75	3,86	4,59	5,72	5,61	6,44	8
Skillnad mot referens	-52,46%	-45,45%	-29,62%	-46,63%	-39,16%	-27,6%	-41,22%	-35,69%	-24,13%
Kvadrat	3,37	3,7	4,42	5,09	5,92	6,77	7,18	8,36	8,82
Skillnad mot referens	-28,88%	-25,37%	-15,67%	-25,11%	-17,73%	-12,43%	-20%	-12,55%	-14,44%
Triangel, stående	2,95	3,34	3,72	5,3	5,68	6,27	7,66	8	8,89
Skillnad mot referens	-37,3%	-32,21%	-28,8%	-21,37%	-20,6%	-18,51%	-13,8%	-15,82%	-13,48%
Triangel, liggande	2,28	2,43	3,11	4,05	4,34	5,16	6,15	6,84	7,38
Skillnad mot referens	-51,49%	-50,74%	-40,44%	-39,94%	-39,27%	-32,92%	-30,77%	-27,95%	-28,18%

Kapacitet för enskilda redskap som används vid konventionell bearbetning på fält med solpaneler, beroende på maskinsystemets bredd, fältform och fältstorlek. Grönmarkerade rutor visar de högsta värdena, rödmarkerade rutor de lägsta värdena. Vita rutor med röd text visar den största skillnaden i procent.

Bilaga 3

Kapacitet (ha/tim)

Reducerad bearbetning

Tallriksredskap	12 metersssystem			24 metersssystem			36 metersssystem		
	5 ha	10 ha	50 ha	5 ha	10 ha	50 ha	5 ha	10 ha	50 ha
Rektangel, stående	2,94	3,08	3,4	4,8	4,89	5,54	6,26	6,71	7,5
Skillnad mot referens	-15,13%	-14,72%	-10,54%	-9,41%	-12,47%	-6,26%	-9,74%	-8,99%	-4,46%
Rektangel, liggande	1,41	1,71	2,47	2,44	2,93	4	3,48	4,24	5,45
Skillnad mot referens	-59,2%	-52,63%	-35,09%	-53,88%	-47,62%	-32,24%	-49,81%	-42,53%	-30,56%
Kvadrat	2,10	2,4	3,09	3,42	4,12	4,77	5,12	5,57	6,82
Skillnad mot referens	-34,64%	-29,86%	-16,57%	-30,85%	-22,19%	-17,27%	-21,38%	-20,6%	-11,13%
Triangel, stående	1,80	2,08	2,38	3,61	3,82	4,38	5,45	5,33	6,23
Skillnad mot referens	-43,28%	-38,67%	-35,26%	-26,28%	-27,29%	-23,74%	-15,55%	-23,51%	-18,52%
Triangel, liggande	1,34	1,18	1,92	2,64	2,81	3,48	4,19	4,45	5,08
Skillnad mot referens	-57,66%	-65,14%	-47,93%	-46,07%	-46,67%	-39,41%	-35,07%	-36,12%	-33,55%

Kultivator

Rektangel, stående	2,67	2,79	3,03	4	4,21	4,34	5,67	5,73	6,15
Skillnad mot referens	-12,38%	-10,8%	-6,01%	-8,87%	-7,14%	-7,3%	-5,15%	-7,74%	-4,46%
Rektangel, liggande	1,53	1,8	2,34	2,5	2,91	3,68	3,64	4,07	5,33
Skillnad mot referens	-49,73%	-42,52%	-27,38%	-43,14%	-35,68%	-21,45%	-39,06%	-34,47%	-17,22%
Kvadrat	2,16	2,34	2,78	3,3	3,56	4,07	4,89	5,1	5,66
Skillnad mot referens	-26,33%	-22,94%	-12,56%	-21,95%	-19,2%	-11,82%	-15,24%	-15,7%	-11,17%
Triangel, stående	1,88	2,1	2,32	3,41	3,49	3,85	5,15	5,1	5,59
Skillnad mot referens	-35,67%	-30,56%	-26,7%	-19,08%	-20,59%	-16,59%	-10,34%	-15,34%	-11,91%
Triangel, liggande	1,48	1,56	1,97	2,68	2,78	3,27	4,25	4,44	4,84
Skillnad mot referens	-49,28%	-48,52%	-37,84%	-36,26%	-36,74%	-28,99%	-25,99%	-26,41%	-23,74%

Kapacitet för enskilda redskap som används vid reducerad bearbetning på fält med solpaneler, beroende på maskinsystemets bredd, fältform och fältstorlek. Grönmarkerade rutor visar de högsta värdena, rödmarkerade rutor de lägsta värdena. Vita rutor med röd text visar den största skillnaden i procent.

Bilaga 4

Kapacitet (ha/tim)

Sådd	12 metersssystem			24 metersssystem			36 metersssystem		
	5 ha	10 ha	50 ha	5 ha	10 ha	50 ha	5 ha	10 ha	50 ha
Universalsåmaskin									
Rektangel, stående	1,67	1,71	1,76	2,18	2,24	2,32	3,39	3,49	3,61
Skillnad mot referens	0,6%	0,6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Rektangel, liggande	1,44	1,53	1,67	1,82	1,96	2,17	2,82	3,05	3,39
Skillnad mot referens	-13,3%	-10%	-5,1%	-16,5%	-12,5%	-6,5%	-16,8%	-12,6%	-6,1%
Kvadrat	1,58	1,64	1,73	2,04	2,14	2,27	3,18	3,33	3,53
Skillnad mot referens	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Triangel, stående	1,57	1,63	1,72	2,03	2,12	2,26	3,15	3,31	3,52
Skillnad mot referens	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Triangel, liggande	1,46	1,55	1,68	1,85	1,98	2,19	2,87	3,08	3,41
Skillnad mot referens	-7,01%	-4,91%	-2,33%	-8,87%	-6,6%	-3,1%	-8,89%	-6,95%	-3,13%

Kapacitet för universalsåmaskin på fält med solpaneler, beroende på maskinsystemets bredd, fältform och fältstorlek. Grönmarkerade rutor visar de högsta värdena, rödmarkerade rutor de lägsta värdena. Vita rutor med röd text visar den största skillnaden i procent.

Bilaga 5

Kapacitet (ha/tim)

Konventionell bearbetning	12 metersssystem			24 metersssystem			36 metersssystem		
	5 ha	10 ha	50 ha	5 ha	10 ha	50 ha	5 ha	10 ha	50 ha
<i>Rektangel</i>	0,7	0,72	0,75	0,95	0,99	1,03	1,25	1,31	1,38
<i>Kvadrat</i>	0,65	0,68	0,73	0,88	0,93	1	1,15	1,23	1,34
<i>Triangel</i>	0,63	0,67	0,72	0,85	0,9	0,98	1,11	1,19	1,3

Harv

<i>Rektangel</i>	5	5,15	5,33	7,24	7,55	7,9	9,54	10,01	10,54
<i>Kvadrat</i>	4,74	4,96	5,24	6,8	7,2	7,73	8,97	9,56	10,31
<i>Triangel</i>	4,7	4,93	5,22	6,74	7,15	7,7	8,89	9,5	10,27

Reducerad bearbetning

Tallriksredskap

<i>Rektangel</i>	3,46	3,61	3,8	5,3	5,59	5,91	6,94	7,37	7,85
<i>Kvadrat</i>	3,21	3,42	3,7	4,94	5,3	5,76	6,51	7,02	7,67
<i>Triangel</i>	3,17	3,39	3,68	4,89	5,26	5,74	6,45	6,97	7,64

Kultivator

<i>Rektangel</i>	3,05	3,13	3,22	4,39	4,53	4,68	5,98	6,21	6,44
<i>Kvadrat</i>	2,93	3,04	3,18	4,23	4,41	4,62	5,77	6,05	6,37
<i>Triangel</i>	2,92	3,03	3,17	4,21	4,39	4,61	5,74	6,03	6,35

Sådd

Universalsåmaskin

<i>Rektangel</i>	1,66	1,7	1,76	2,18	2,24	2,32	3,39	3,49	3,61
<i>Kvadrat</i>	1,58	1,64	1,73	2,04	2,14	2,27	3,18	3,33	3,53
<i>Triangel</i>	1,57	1,63	1,72	2,03	2,12	2,26	3,15	3,31	3,52

Referensvärden för kapaciteten vid fältarbete på fält utan solpaneler (hektar per timme) för de enskilda redskap som används vid konventionell respektive reducerad bearbetning samt universalsåmaskin, beroende på maskinsystemets bredd, fältform och fältstorlek.

Bilaga 6

12-meterssystem	Totalareal	Solpanelsareal	Andel av areal	Nettoareal	Andel av areal
<i>Rektangel, stående</i>	5	0,20	4%	4,80	96%
	10	0,53	5%	9,47	95%
	50	3,28	7%	46,72	93%
<i>Rektangel, liggande</i>	5	0,20	4%	4,80	96%
	10	0,50	5%	9,51	95%
	50	3,24	6%	46,76	94%
<i>Kvadrat</i>	5	0,25	5%	4,75	95%
	10	0,56	6%	9,44	94%
	50	3,36	7%	46,64	93%
<i>Triangel, stående</i>	5	0,22	4%	4,78	96%
	10	0,53	5%	9,47	95%
	50	3,27	7%	46,73	93%
<i>Triangel, liggande</i>	5	0,21	4%	4,79	96%
	10	0,52	5%	9,48	95%
	50	3,25	6%	46,75	94%
24-meterssystem					
<i>Rektangel, stående</i>	5	0,12	2%	4,88	98%
	10	0,29	3%	9,71	97%
	50	1,78	4%	48,22	96%
<i>Rektangel, liggande</i>	5	0,10	2%	4,90	98%
	10	0,26	3%	9,74	97%
	50	1,68	3%	48,32	97%
<i>Kvadrat</i>	5	0,14	3%	4,86	97%
	10	0,29	3%	9,71	97%
	50	1,78	4%	48,22	96%
<i>Triangel, stående</i>	5	0,12	2%	4,88	98%
	10	0,28	3%	9,72	97%
	50	1,61	3%	48,39	97%
<i>Triangel, liggande</i>	5	0,11	2%	4,89	98%
	10	0,27	3%	9,73	97%
	50	1,70	3%	48,30	97%
36-meterssystem					
<i>Rektangel, stående</i>	5	0,08	2%	4,93	99%
	10	0,17	2%	9,83	98%
	50	1,07	2%	48,93	98%
<i>Rektangel, liggande</i>	5	0,04	1%	4,96	99%
	10	0,14	1%	9,86	99%
	50	1,04	2%	48,96	98%
<i>Kvadrat</i>	5	0,08	2%	4,92	98%
	10	0,17	2%	9,83	98%
	50	1,14	2%	48,86	98%
<i>Triangel, stående</i>	5	0,06	1%	4,94	99%
	10	0,16	2%	9,84	98%
	50	0,97	2%	49,03	98%
<i>Triangel, liggande</i>	5	0,05	1%	4,95	99%
	10	0,15	1%	9,85	99%
	50	1,06	2%	48,94	98%

Andel av arealen som tas upp av raderna med solpaneler (solpanelsareal) angivet i hektar och procent av totalarealen. Samt andel brukbar areal (nettoareal) angivet i hektar och procent av totalarealen, för varje fält och alla radavstånd.