



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 24004

Examensarbete 30 hp

Januari 2024



Resurseffektiv bevattning i ett föränderligt klimat

Salman Rahman

Civilingenjörsprogrammet inom miljö- och vattenteknik





UPPSALA UNIVERSITET

EXAMENSARBETE I MILJÖ- OCH VATTENTEKNIK

Resurseffektiv bevattning i ett föränderligt klimat

Namn | Salman Rahman

Handledare | Staffan Filipsson

Ämnesgranskare | Abraham Joel

Examinator | Antonio Segalini

Ort, datum | Uppsala, 14 januari 2024

Kurs | Examensarbete i miljö- och vattenteknik, 1TV962, 30 hp

Program | Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik, 300 hp

Uppsala universitet | Institutionen för geovetenskaper

Referat

Resurseffektiv bevattning i ett föränderligt klimat

Salman Rahman

Södra Gotland (Storsudret) är ett av de mest utsatta områdena i Sverige när det kommer till torka under somrarna. Trots stora mängder nederbörd har jordbrukare problem med bevattning då öns geologi påverkar lagringen av vatten i form av grundvatten negativt. Vilket beror på att berggrunden består främst av kalk, mörgel och mörgelsten. Dålig tillgång till vatten kombinerat med långa och varma somrar har medfört att skörden minskat markant under de senaste åren. Bevattningstekniker som används i dagsläget är inte bra på att utnyttja vatten på ett hållbart och effektivt sätt. Dessutom har kostnaderna ökat för många jordbrukare på Gotland med avseende på de ökande elpriserna. Bevattning kräver el och vissa bönder har exempelvis inte tillgång till el vid sina åkrar och måste därmed dra el vilket ökar kostnaderna markant. Behovet av mer resurseffektiva och hållbara bevattningstekniker är stort och något som behöver undersökas mer djupgående.

Syftet med denna studie var att undersöka ifall ett automatiserat bevattningssystem som drivs av solenergi faktiskt är möjligt att implementera. Detta utifrån olika kriterier såsom kostnad, energianvändning, skördemängd, klimatpåverkan och vattenanvändning. Därefter jämföra mot ett mer konventionellt system som används i dagsläget och därmed undersöka vilka skillnader det finns. Det var två system som valdes i studien. System 1 var ett potentiellt automatiserat rampbevattningssystem och system 2 ett konventionellt rampbevattningssystem. Båda systemen sattes in i verklighetsbaserade scenario (en åker i södra Gotland) för att få en mer realistisk överblick. Därefter användes en multikriterieanalys för att jämföra båda systemen mot varandra utifrån valda kriterier. Sist av allt användes en SWOT-analys för att sammanknyta all resultat som togs fram i studien.

Resultatet visade att det är i teorin möjligt att bygga ett helt automatiserat bevattningssystem som drivs av solenergi och att det finns både positiva och negativa delar med systemet jämfört mot en konventionell rambevattning. Det potentiella systemet har exempelvis både en högre kostnad som 1,1 gånger högre, samt en högre energianvändning per hektar, cirka 5 gånger högre jämfört med ett konventionellt system. Dock presterade det potentiella systemet bättre jämfört mot ett konventionellt system med avseende på klimatpåverkan som var 10 gånger lägre jämfört med ett konventionellt system. SWOT sammanställningen visade också att intresset för automatiserade bevattningssystem är låg bland jordbrukare delvis på grund av att systemen inte är anpassade till svenska förhållanden, samt den höga investeringskostnaden. Därav krävs det att fler aktörer blir involverade och kunskapen sprids för att öka etableringen av automatiserade bevattningssystem på södra Gotland (Storsudret) samt resten av Sverige.

Nyckelord: Bevattning, jordbruk, Gotland, Storsudret, IoT baserad bevattning, automatiserad bevattning, mobila solceller, bevattning med solenergi, vattenanvändning, skördemängd

Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala Universitet Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36, Uppsala, ISSN 1401-5765

Abstract

Resource-efficient irrigation in a changing climate

Salman Rahman

The southern part of Gotland (Storsudret) is one of the most exposed areas in Sweden when it comes to drought during the summers. Despite large amounts of rainfall, farmers have problems with irrigation as the island's geology negatively affects the storage of water in the form of groundwater. Poor access to water combined with long and hot summers has meant that the harvest has decreased significantly in recent years. Irrigation techniques used today are not good at using water sustainably and efficiently. In addition, costs have increased for many farmers in Gotland concerning the increasing electricity prices. Irrigation requires electricity and some farmers, for example, do not have access to electricity in their fields and thus have to get electricity, which increases costs significantly. The need for more resource-efficient and sustainable irrigation techniques is great and something that needs to be investigated in more depth.

The purpose of this study was to investigate whether an automated irrigation system powered by solar energy is realistically possible to implement. This was based on various criteria such as cost, energy requirements, yield, etc., and then compare against a more conventional system that is currently used and thus examines what differences there are. Two systems were chosen in the study. System one was a potentially automated irrigation system and system two was a conventional ramp irrigation system. Both systems were put into a reality-based scenarios (a field in southern Gotland) to get a more realistic overview. Multi-criteria analysis was then used to compare both systems against each other based on selected criterias. Afterward, a SWOT analysis was also carried out to summarize all the results that were produced in the study.

The result showed that it is theoretically possible to build a fully automated irrigation system powered by solar energy and that there are both positive and negative parts to the system compared to conventional ramp irrigation. The potential system has, for example, both a higher cost which was 1.1 times higher, and a higher energy requirement per hectare which was 5 times higher compared to a conventional system. However, the potential system performed better compared to a conventional system concerning climate impact which was 10 times lower compared to a conventional system. The SWOT summarize also showed that interest in automated irrigation systems was low among farmers partly due to the systems not being adapted to Swedish conditions and the large investment cost. Thus it is necessary that more actors be involved and the knowledge spread to increase the establishment of automated irrigation systems in southern Gotland (Storsudret) and in the rest of Sweden.

Keywords: Irrigation, agriculture, Gotland, Storsudret, IoT based irrigation, automated irrigation, mobile solarpanels, solar irrigation, water saving, yield increase

Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Science, Uppsala University, Villavägen 16, SE-752 36, Uppsala, ISSN 1401-5765

Förord

Detta examensprojekt är det sista arbetet som genomförs inom civilingengörsprogrammet inom miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet och SLU. Projektet genomfördes vid IVL Svenska Miljöinstitutet. Handläggare för projektet var Staffan Filipsson, ämnesgranskare var Abraham Joel och examinator Antonio Segalini.

Först av allt så skulle jag vilja tacka min stöttande familj och mina vänner som varit där för mig under tuffa tenta perioder och extremt stressiga kurser.

Jag skulle även vilja tacka Staffan Filippson för hans stöd, engagemang och driv för projektet. Jag uppskattar verkligen all hans hjälp. Dessutom vill jag även tacka IVL Svenska Miljöinstitut som var enormt välkomnande.

Sist av allt vill jag dessutom tacka Abraham Joel för hans expertis och all den stöd han gett mig under projektets gång. Hans expertis inom området var ovärderlig.

Salman Rahman
Uppsala, 2024

Populärvetenskaplig sammanfattning

Klimatpåverkan har börjat visa sina effekter runt om i Sverige och en av de mest utsatta områdena i Sverige är just Storsudret på Gotland. Denna delen av ön har under åren haft höga temperaturer vilket har resulterat sig i torka. Det uppstod enorma problem för jordbrukare speciellt under åren 2018 och 2019 där föda till djur var limiterad då åkrarna inte kunde bevattnas tillräckligt. Geologin i södra Gotland har låg kapacitet vid grundvattenlagring, vilket har resulterat sig i att den mängd vatten som finns lagrad inte är tillräckligt för konventionella bevattningssystem som kräver höga flöden och därmed en större volym vatten. Dessutom måste vissa dra el till åkrarna då de inte har tillgång till el vilket kräver en enorm investering och extra arbete vilket många gånger inte är möjligt. Därmed har behovet av mer resurseffektiva och hållbara bevattningstekniker ökat under årens gång. För att kunna få en klar bild över dessa system behöver vissa faktorer undersökas mer djupgående.

Denna studie undersökte hur ett potentiellt solcellsdriven automatiserad bevattningssystem med IoT konceptet potentiellt kan se ut i storskala och ifall det är möjligt att bygga ett sådant system i verkligheten. Därefter jämfördes det potentiella systemet mot en mer etablerad konventionellt rampbevattningssystem utifrån utvalda kriterier (Energianvändning, klimatpåverkan, vattenanvändning, skördemängd och kostnad). Metoderna som användes för att kunna jämföra de båda systemen var en multikriterieanalys med flertal olika steg, en litteraturstudie och en SWOT-analys. För att ge studien en mer verklighetsbaserad bild användes en specifik plats i södra Gotland som scenario.

Först av allt genomfördes en litteraturstudie där tidigare liknande studier undersöktes och datainventering genomfördes för de olika kriterierna. Förutom litteraturstudien användes även Ecoinvent, intervjuer med olika aktörer och personlig/extern kommunikation för datainventeringen. Vid intervjuerna kontaktades bevattningsföretag, solcells företag och forskare inom det relevanta området. Datainventeringen var limiterad för det potentiella systemet då det inte finns ett sådant system i dagsläget, vilket krävde flertal antaganden, medan datainventeringen för det mer konventionall systemet var mer lättillgänglig att få fram då det är mer etablerad system. Utifrån datainventeringen genomfördes olika beräkningar för var och en av kriterierna och systemen. Därefter sammanställdes alla resultat från beräkningar i olika tabeller för var och en av systemen för att kunna se skillnader.

Vid jämförelsen kunde det konstateras att ett potentiellt solcellsdriven automatiserad rampbevattningssystem med IoT konceptet går att implementera i teori, med rätt programmering och maskiner. Det finns både för- och nackdelar med systemet. Nackdelarna är exempelvis att intresset inte är stark bland jordbrukare kring IoT kocept baserade bevattningssystem på grund av att systemen inte riktigt är anpassad till svenska förhållanden, hög investeringskostnad, beroende av väder och hög energianvändning. Fördelarna är att besparing klimatpåverkan och energianvändningen kan reduceras rätt markant och systemet har kan bör ha samma skördemängd per hektar som ett mer etablerat system. När det kommer till vattenanvändning så bör den ha samma användning per hektar som ett etablerat system, potentiellt även en lägre användning av vatten kan ske. Systemet kräver låg underhåll, kräver minimal fysisk arbete (exempelvis flyttning av maskiner med traktorer m.m) och klimatpåverkan är cirka 10 gånger lägre per hektar jämfört med ett konventionellt bevattningssystem. Studien visade att potentialen är relativ stor för en solcellsdriven

automatiserade rampbevakningssystem, men att fler aktörer, politiker och myndigheter måste involveras för att kunna sprida kunskapen, anpassa systemet för svenska förhållanden och därmed öka etableringen av dessa system.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Syfte	2
2	Frågeställningar	2
3	Bakgrund	2
3.1	Effekten av klimatförändringen på Gotland	2
3.1.1	Temperatur och torka	2
3.1.2	Nederbörd	3
3.2	Bevattnings problem på Gotland	4
3.3	Ökad kostnad för svenka jordbrukare och jordbrukare på Gotland	5
3.4	Information om Storsudret	5
3.4.1	IVL:s testbädd	7
3.5	Bevattningstekniker	8
3.5.1	Rampbevattning	8
3.6	Digitala/automatiserade bevattningssystem	8
3.7	Solceller	9
3.8	Bevattning med mobila solceller	10
4	Metod	11
4.1	Antaganden och delar som togs med i studien	12
4.2	Litteraturstudie	12
4.3	MKA (<i>Multikriterieanalys</i>)	13
4.4	Datainventering samt beräkningar	23
4.4.1	Dimensionering och Energi	24
4.4.2	Material	27
4.4.3	Klimatpåverkan	28
4.4.4	Vattenanvändning	29
4.4.5	Skördemängd	29
4.4.6	Kostnad	30
4.4.7	Intervjuer	31
4.5	SWOT-sammanställning	31
5	Resultat	32
5.1	Dimensionering och system uppbyggnad	32
5.2	Energianvändning, Klimatpåverkan, Vattenanvändning, Skördemängd, Kostnad	33
5.3	Intervjuer	37
5.4	SWOT-sammanställning	38
6	Diskussion	39
6.1	Generellt	39

6.2	Dimensionering	39
6.3	Energianvändning.....	40
6.4	Klimatpåverkan.....	40
6.5	Kostnad	40
6.6	Skördemängd.....	41
6.7	Vattenanvändning	42
6.8	SWOT	42
7	Slutsats	42
7.1	Framtida studier	43
Referenser		44
8	Bilagor.....	49
8.1	Bilaga 1	49
8.1.1	Dimensionerings- samt energiberäkningar	49
8.1.2	Beräkning av klimatpåverkan	52
8.1.3	Beräkningar av vattenanvändning	53
8.1.4	Skörde beräkningar	54
8.1.5	Kostnadsberäkningar	54
8.2	Bilaga 2	59
8.2.1	Intervju frågor	59
8.3	Bilaga 3	64
8.3.1	Sammanställning för system 1	64
8.3.2	Sammanställning för system 2	65
8.3.3	Sammanställning för intervju svar	67

Ordlista

- Algkalksten = En sorts biogen kalksten
- Droppbevattning = Bevattning av grödor med droppslangar
- Finkristallin krinoidékalksten = Kalksten som bildats från sjöiljor, musslor m.m
- Grundvattendammar = Dammar som lagrar vatten innuti marken
- GWP100 = Mått på Global Warming Potential för en period av 100 år
- IoT = Internet of Things
- Jordprofil = Vertikal sektion genom en jord som visar jordens lagerhöjd
- Mobila solpaneler = Solpaner som kan transporteras och användas vid olika platser
- Morän = En jordart som bildades av glaciär eller inlandsis
- Märgel = En sorts kalksten som formats av kalkslam
- Normalår = Avser en 30-årsperiod med normal nederbörd
- Rampbevattning = En bevattningsteknik som använder en smal ramp med sprinklers som sprutar ut vatten
- RCP 4,5 = Scenarior ifall koldioxidutsläppen ökar fram till 2040
- RCP 8,5 = Scenarior med fortsatt höga utsläpp av växthusgaser
- Revkomplex = Komplexa fragmenterade rester av bergarter
- Torrår = År med låg nederbörd

1 Inledning

Vatten är en väsentlig faktor och förutsättning för det Svenska jordbruket. Behovet av vatten som kan användas till bevattning ökar med varje år, detta främst på grund de förändringar som sker med klimatet runt om i landet (Jordbruksverket 2018). Ett exempel är torråret 2018 där många jordbrukare runt om i landet fick enorma problem. Ett de dessa områden var Gotland där skörden var hälften av det som produceras under ett normalår. År 2019 blev inte bättre utan många jordbrukare anser att 2019 var ett värre år jämfört med 2018 (Englund 2019; Länsstyrelsen i Gotlands län 2018; Rosell 2016).

En studie som genomfördes av Persson et al. (2015) visar på att Gotland kommer få fler och längre perioder med torka samt ökad nederbörd. Trots nederbördsmängden på Gotland har jordbrukare inte tillräckligt mycket vatten för att kunna bevattna sina åkrar och detta beror på Gotlands geologi som har problem med att behålla kvar vatten i grundvattenmagasinen och fylla på de efter nederbörd (Hjerne et al. 2022; SMHI 2021). Detta kombinerat med torka gör Gotland till en de mest utsatta områdena i Sverige när det kommer till bevattning.

För att kunna klara av att bevattna åkrarna på Gotland behövs bevattningstekniker som kan utnyttja vatten på ett mer hållbart och effektivt sätt. Problemet i dagsläget är att de bevattningstekniker som används i dagsläget inte kan göra detta. De bevattningstekniker som används i Sverige kräver majoriteten av tillfällena manuellt arbete (transport av ramper och bevattningsmaskin), stora flöden, stora maskiner och jordbrukaren måste själv bedömma när och hur mycket vatten som ska användas för bevattning (Axelsson 2015; Lundahl 2022). Dessutom kräver bevattning el och många jordbrukare har exempelvis inte dragit el till sina åkrar, vilket medför extra kostnader.

Globalt sett finns det tekniker som kan användas för att automatisera bevattningen på Gotland, vilket då exempelvis inte skulle kräva manuellt arbete eller att jordbrukaren själv måste bedömma hur mycket vatten som behövs och när det ska bevattnas. Dock är dessa tekniker rätt dyra jämfört med de tekniker som används i Sverige i dagsläget, vilket är en av huvudorsakerna till varför jordbrukare inte vill använda sig av automatiserad bevattning (Abayomi-Alli et al. 2018; Axelsson 2015). Potentialen för automatiserade system kan finnas på Gotland om det är ekonomiskt hållbart, då flertal studier visat på de positiva effekter som finns med tekniken kombinerat med solpaneler som energikälla, då Gotland har bland flest soltimmar i Sverige (Abayomi-Alli et al. 2018; Islam Sakib et al. 2020; SMHI 2023). Men det finns en hel del frågor som behöver besvaras för att kunna veta den faktiska potentialen kring automatiserade bevattningssystem som drivs av solpaneler på Gotland då det inte genomförts i stor skala . Exempel på frågor som behöver besvaras är Hur kan ett automatiserad bevattningssystem med solpaneler se ut som är ekonomiskt hållbart? Hur kan intresset öka bland jordbrukare kring automatiserad bevattningssystem? Det är bara några av flertal frågor som behöver undersökas.

Detta projekt har kommit från IVL Svenska Miljöinstitutet som vill undersöka potentialen kring automatiserade bevattningssystem för ett jordbruk på Gotland. Dels undersöka hur ett sådant system potentiellt kan se ut, samt jämföra med ett konventionellt system.

1.1 Syfte

Syftet med studien är att undersöka potentialen för ett hållbart, solcellsdriven och automatiserat (självgående) bevattningssystem för ett riktigt jordbruk på Gotland. Detta igenom att ta hänsyn till vad som odlas på jordbruket, skörd, klimatavtryck, energianvändning m.m. Dessutom kommer studien undersöka vilka för- och nackdelar som finns med ett sådant bevattningssystem jämfört mot en de vanligaste bevattningssystemen som används i dagsläget.

2 Frågeställningar

1. Hur kan ett helt automatiserat och solcellsdriven bevattningssystem för jordbruket potentiellt se ut?
2. Hur ser marknaden och intresset ut i dagsläget kring ett IoT koncept baserad bevattningssystem?
3. Vilka skillnader finns det mellan det potentiella systemet mot ett referens bevattningssystem utifrån olika kriterier?

3 Bakgrund

Nedan sammanställs bakgrundsfakta kring tidigare forskning och undersökningar som genomförts inom områden som är relevanta för denna studie. Bakgrundsfaktan innefattar information kring torrperioderna vid Gotland och södra Gotland och vilka konsekvenser perioderna har på jordbruket, samt de bevattningsproblem ön har i dagsläget och vilka konsekvenser det medför. Dessutom finns det även information om olika bevattningstekniker som används i samhället och bakgrundsfakta kring solceller och mobila solceller vilket är en teknik som kommer undersökas mer under studiens gång.

3.1 Effekten av klimatförändringen på Gotland

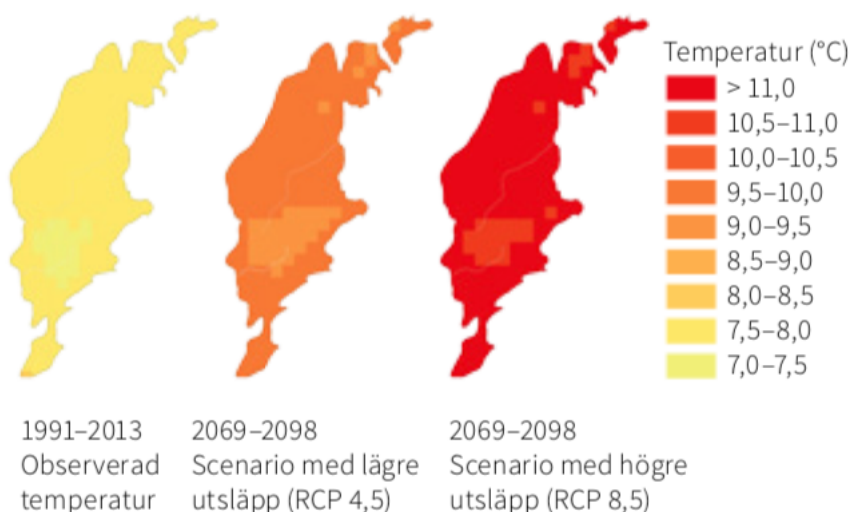
3.1.1 Temperatur och torka

Att det förekommer torka på Gotland under sommrarna är ingen nyhet, speciellt med tanke på klimatförändringen som sker runt om i landet. Torråret 2018 var ett tufft år för många Gotländska jordbrukare, men enligt många bönder var 2019 ett värre år jämfört med 2018 (Englund 2019; Rosell 2016). Konsekvenserna av torkan är enorma, speciellt för livmedelsproduktionen då många jordbrukare odlar vall som sedan används som foder för kor m.m. Enligt länsstyrelsen på Gotland var skörden till och med mindre än hälften under torråret 2018 jämfört med ett normalår, detsamma gäller även 2019 (Länsstyrelsen i Gotlands län 2018).

Den höga temperaturen under somrarna har även bidragit till att det varit svårt att upprätthålla ett av Gotlands miljömål, vilket är levande sjöar och vattendrag. De flesta sjöar har klarat sig från torkan, däremot har vattendragen drabbats markant under torrperioderna. Att bevara och restaurera dessa vattendrag har blivit allt mer aktuell då deras funktioner är väsentliga för den biologiska mångfalden (Länsstyrelsen Gotlands Län 2022).

Enligt SMHI och deras klimatscenarier för Gotland kommer klimatförändringen medföra ett antal stora förändringar i framtiden. Klimatscenarierna som SMHI undersökte var RCP 4,5 och RCP 8,5 (IPCC 2014). Undersökningen visade på att årsmedeltemperaturen på Gotland kommer att öka med 3°C utifrån RCP 4,5 och 5°C utifrån RCP 8,5. Figur 1 visar hur temperaturen kommer att förändras på Gotland under det kommande seklet. Gotland kommer därmed uppleva varmare årstider. Varmast kommer vara sommar, vilket kommer resultera i att längre perioder med värmeböljor kan förekomma och därmed kan Gotland få mer intensiva och längre torrperioder. Detta kommer ha en markant negativ effekt på öppna vattendrag, djurhållningen m.m (Länsstyrelsen Gotlands Län 2022; Persson et al. 2015).

SMHI:s undersökning visar även att Gotland kommer uppleva längre perioder av låg markfuktighet. I dagsläget brukar Gotland få 15 dagar av låg markfuktighet, detta kommer öka till cirka 30-40 dagar i framtiden (Persson et al. 2015). Dock visar en rapport skriven av Youen Grusson att RCP scenarierna som SMHI undersökte har lägre negativ effekt jämfört med i verkligheten. Rapporten undersöker dock inte Gotland, men de undersöker många delar av landet vilket med störst sannolikhet också innebär att Gotland kommer få en högre negativ effekt (Grusson et al. 2021).

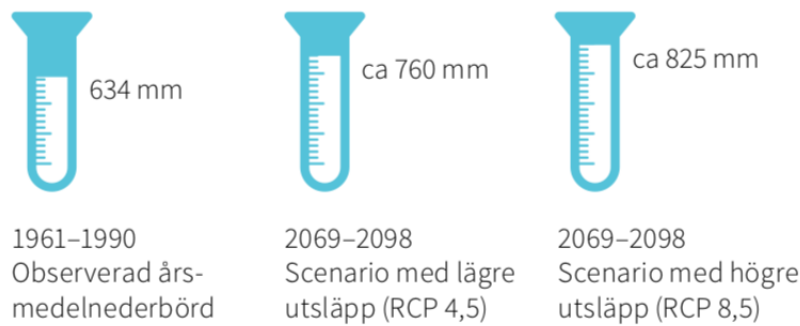


Figur 1: Framtida temperatur scenarier för Gotland utifrån RCP 4,5 och RCP 8,5 (Persson et al. 2015)

3.1.2 Nederbörd

Gotland är ett de områden i Sverige som har lägst nederbörd, men enligt SMHI:s klimatscenarier kommer mängden nederbörd för varje årstid att öka, samt kommer årsmedelnederbörden öka med cirka 20%-30% vilket kan observeras i figur 2. En del av nederbörden faller i dagsläget som snö, men på grund av temperaturökningen kommer det mesta av nederbörden falla i form av regn i framtiden. Förutom att årsmedelnederbörden kommer även dygnsnederbörden öka med cirka 25%, samt kommer Gotland få mer frekventa och intensiva skyfall framöver. Detta kommer vara en positiv effekt för grundvattenmagasineringsen, dock kommer det innebära att risken för översvämning i form av ytavrinning ökar markant. Översvämningarna kommer ha en negativ effekt på jordbruksmark och att avleda vattnet i framtiden kommer bli väldigt viktigt (Länsstyrelsen Gotlands

Län 2022; Persson et al. 2015).



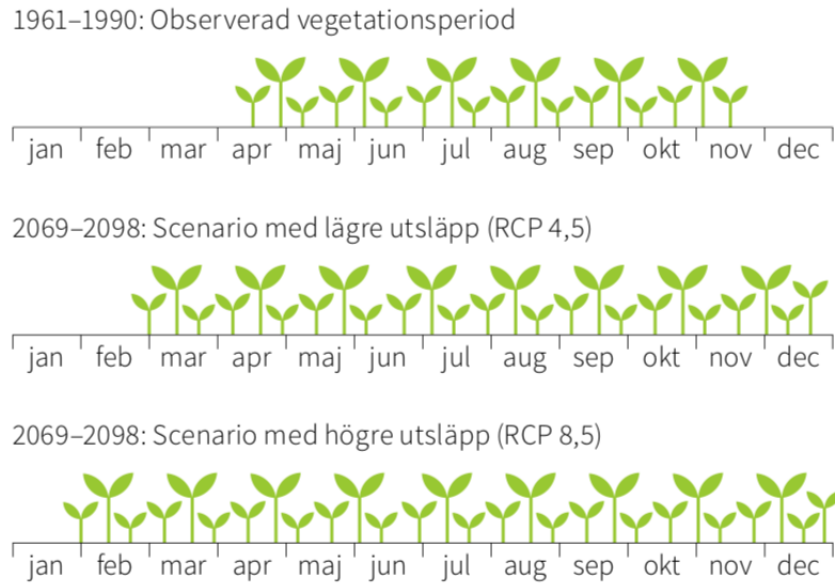
Figur 2: Framtida nederbörds scenarier för Gotland utifrån RCP 4,5 och RCP 8,5 (Persson et al. 2015)

3.2 Bevattnings problem på Gotland

Gotland har under många år haft bevattningsförbud under våren och sommaren (Region Gotland 2022). Bevekelsegrunden till förbuden är att grundvattenmagasinen inte har nog mycket vatten eftersom de inte hinner fyllas på (Persson et al. 2015). Jordbrukare i många delar av Gotland har under de senaste åren haft svårt att få till en bra skörd på grund av extrem värme och otillräcklig bevattning på grund av låga halter av grundvatten (Englund 2019). Den lokala livsmedelsproduktionen är extrem viktig för både befolkningen på Gotland, men även befolkningen i fastlandet som köper in mycket livsmedel från ön (Länsstyrelsen Gotlands Län 2022; Länsstyrelsen i Gotlands län 2018).

Marken på Gotland är annorlunda med avseende på att den inte kan bibehålla eller lagra tillräckligt mycket vatten som faller ner som regn/snö. Översta jordprofilen på Gotland består mestadels av sand- och grusavlagringar, samt sandsten. Medan berggrunden är mestadels uppbyggt av kalksten, mörgel och mörgelsten. Även om den ytliga skikten (sand, grus och sandsten) har en rätt bra vattenförande förmåga i många delar av ön, har den Gotländska berggrunden betydligt sämre vattenförande förmåga (speciellt södra delen), vilket påverkar magasineringen av grundvatten. I många delar av landet kan kalksten lagra stora mängder grundvatten, men kalkstenen på Gotland har en låg hydraulisk konduktivitet vilket påverkar grundvattenmagasineringen (Hjerne et al. 2022; SMHI 2021). Andra faktorer som också påverkar grundvattenmagasineringen är gamla diken som leder bort vatten, vilket egentligen skulle fyllt på grundvattnet (Thorsbrink et al. 2017).

Enligt SMHI:s undersökning av Gotlands framtida klimatscenarier kommer växtsäsongerna att bli längre (se figur 3), närmare 2-3 månader längre jämfört med dagens växtsäsong (Persson et al. 2015; SMHI 2021).



Figur 3: Framtida växtsäsonger scenarier för Gotland utifrån RCP 4,5 och RCP 8,5 (Persson et al. 2015)

3.3 Ökad kostnad för svenska jordbrukare och jordbrukare på Gotland

Kostnaden för att bedriva ett jordbruk i Sverige har under åren ökat markant, speciellt på grund de ökande el- och bränslepriserna. 2022 valde regeringen att ge svenska lantbrukare en miljard kronor i stöd, dock går ca 700 miljoner av stödet till bränsle. Det förekommer även en hel del kostnader för att köpa in foder då senaste somrarna haft extrem värme och torka, vilket resulterat sig i att jordbrukare inte fått en bra skörd och därmed behövt köpa in foder för sina djur (Eremo 2022; Länsstyrelsen i Gotlands län 2018). Kostnaden för att köpa in foder m.m var runt 15-20 miljarder för hela Sverige under 2018 (Eremo 2022).

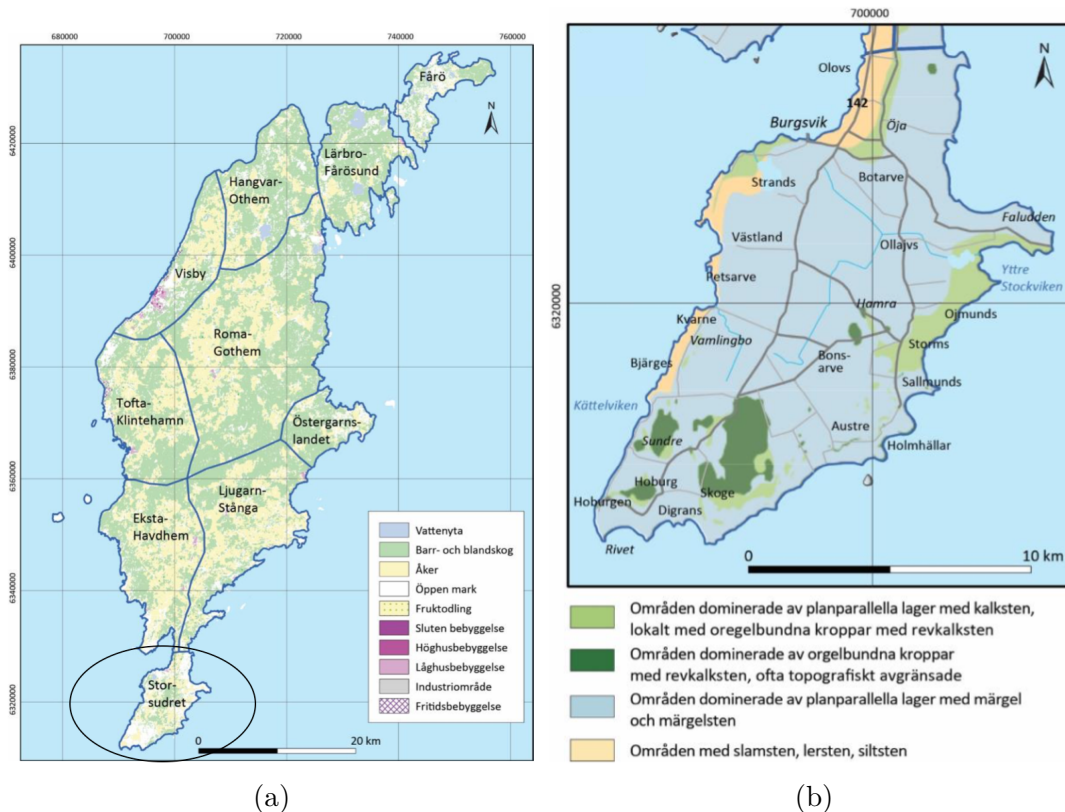
Gotland har under de senaste åren haft stora problem med torka, vilket har resulterat sig i att många jordbrukare blivit tvunga att köpa in foder m.m. Inköpen har medfört en markant ökning i kostnad för bönderna, totalt sett en ökning med cirka en miljard kronor för alla bönder sammanlagt, vilket även inkluderar de ökande el- och bränslepriserna (Lantbruk 2021; Länsstyrelsen i Gotlands län 2018).

Att gå bort från fossilt bränsle till förnybara energikällor börjar bli allt viktigare inom jordbruket. Att satsa på förnybara energikällor uppmuntras av bland annat Jordbruksverket som även ger stöd för sådana investeringar. Jordbruksverket ger stöd till investeringar som gynnar omställningen till ett grönare samhälle, stödet kan som högst vara 40% av investeringens utgifter. Genom att investera i förnybara energikällor kommer jordbrukare dels bli självförsörjande, men även bidra till minskat utsläpp av växthusgaser inom det svenska jordbruket (Jordbruksverket 2022a).

3.4 Information om Storsudret

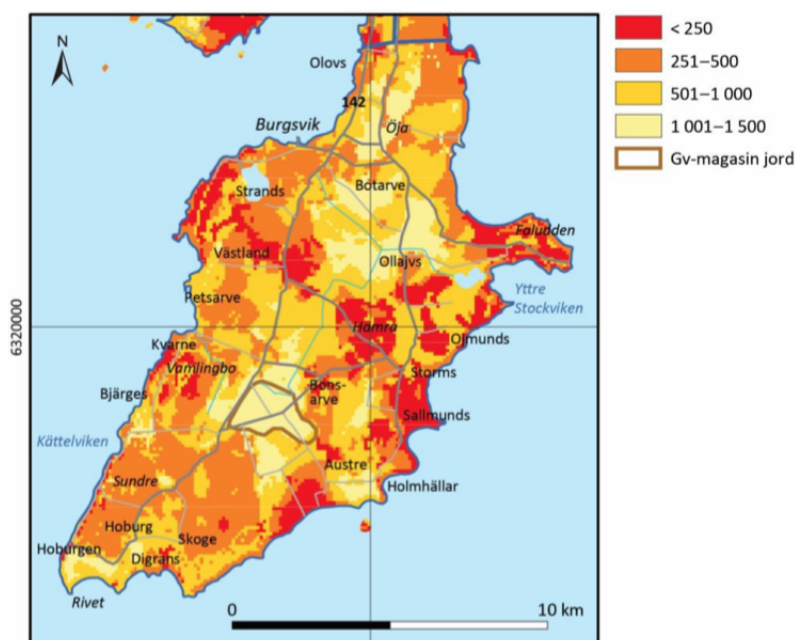
Storsudret är den sydligaste delen av den Gotländska ön. Storsudret är mestadels ett öppet område som är kargt, vilket kan observeras i figur 4(a). Området har en del hällmark och består mestadels

av tunnajordlager som inte är optimala för att lagra/magasinera vatten som grundvatten. De tunna jordlagrena är uppbyggda av mestadels sand och morän, medan berggrunden är uppbyggd av finkristallin krinoidékalksten, mindre revkomplex, mörgel och lerig algkalksten, vilket kan observeras i figur 4(b) (Hjerne et al. 2022).



Figur 4: (a) Karta över de olika markförhållandena på Gotland (Hjerne et al. 2022). (b) Karta över Storsudrets berggrund (Hjerne et al. 2022)

Berggrunden i Storsudret har begränsande magasinerings egenskaper och de flesta magasin är utspridda och relativt lokala med främst vertikal strömning. Då jordlagrena är tunna och berggrunden sprickig perkolerar det infiltrerade vatten med rätt hög hastighet, vilket resulterar i att tiden för att kunna utnyttja det infiltrerade grundvattnet blir kort innan vattnet åker ut i havet. Ett stort problem i Storsudret är just att majoriteten av deras grundvattenströmning har sin riktning mot havet, vilket är ett av flera underliggande problem till varför området har svårt att magasinera grundvatten vilket kan observeras i figur 5 (ibid.).



Figur 5: Storsudrets grundvattentillgångar [liter/dygn/ha] (Hjerne et al. 2022)

Storsudret är ett område som med lågt grundvatten skydd på grund av de geologiska förhållandena. I många delar ligger grundvattenytan relativt lågt, vilket ökar sannolikheten att grundvattnet är kontaminerat med bräckvatten från Östersjön (Hjerne et al. 2022; Miljö- och hölsoskyddsnämnden Region Gotland 2015; Thorsbrink et al. 2017). Detta vatten kan användas till bevattning men risken för att det bildas salt är hög, vilket kommer påverka grödorna oerhört negativt då det kan vara toxisk för de (Department of Primary Industries and Regional Development 2019).

3.4.1 IVL:s testbädd

Testbädd Storsudret är ett projekt som implementeras och testas av IVL Svenska Miljö Institutet. Studiens period var mellan 2018-2022 och finanseras av både Vinnova och EU:s program Horizon 2020 via projektet NextGen. Storsudret har som tidigare nämnt svårt att magasinera grundvatten på grund de tunna jordlagrena, vilket har resulterat sig att området får vatten via pipelines från avsaltningsverket i Kvarnåkershamn. Dock såg Region Gotland ett behov av att kunna säkerställa Storsudrets framtida vattenförsörjning, vilket resulterade sig i att detta projekt påbörjades (IVL Svenska Miljöinstitutet AB 2022).

Efter en förundersökning kunde slutsatsen dras att Storsudret inte har problem med mängd vatten som faller under året, utan det är magasineringen. Därav blev målet med själva projektet att få Storsudret att bli självförsörjande, men även att leda vägen för hållbara, energieffektiva och kostnadseffektiva system som klarar av de tuffaste utmaningarna kring vattenproblem (ibid.).

För att lösa problemet kring magasineringen av regnvatten har IVL undersökt potentialen av att samla in regnvatten via våtmarker, mindre dammar och grundvattendammar. Idén kring grundvattendammar kom från ett projekt i Indien, där de applicerade tekniken i en by vid namn Raleghan Siddhi. Förutom att ha liknande problem som Storsudret var byn även fattig, men implementeringen av grundvattendammar har resulterat sig i att byn utvecklats under åren.

De är i dagsläget bland de rikaste byarna i hela Indien på grund av den positiva ökningen i skörd. Dock finns det en hel del utmaningar kvar som fortfarande behöver undersökas, men IVL är positiva då testbäddarna har visat stora framgångar (IVL Svenska Miljöinstitutet AB 2022).

3.5 Bevattningstekniker

De bevattningstekniker som används i Sverige i dagsläget är storspridare, rampbevattning och droppbevattning. Dock är bevattning med storspridare mest dominant. Rampbevattning används till en viss del, men av viss anledning är inte tekniken lika etablerad som storspridare, trots att tekniken har en högre precision, samt lägre energiförbrukning vid bevattning. Användning av droppbevattning har ökat i Sverige under åren, men tekniken är dyr och många jordbrukare vill inte investera i tekniken.

3.5.1 Rampbevattning

Rampbevattning är ett bevattningssystem som vanligtvis kombineras med spridare (sprinkler/sprays) och en ramp. Spridare som används är munstycken med olika egenskaper. Vatten sprids sedan igenom dessa spridare med hjälp trycksättning från exempelvis pumpar (USGC 2018).

Rampbevattning kan genomföras på två olika sätt, antingen genom en centerpivot eller igenom en linjärmaskin/-ramp. Skillnaden mellan de två metoderna är att en centerpivot har en fast punkt och den bevattnar i en cirkulär rörelse, medan en linjärmaskin är tvärtom. En linjärmaskin har inte en fastpunkt utan rör sig parallellt när den bevattnar. För en centerpivot kan ett kompletterande system i form av en liten ramp eller storspridare behöva läggas till vid slutet av rampen för att kunna bevattna hörnen på en åker som är rektangulär. Rampen/storspridaren kan då programmeras för att bara bevattna vid hörnen med hjälp av en GPS (Tidningen Husdjur 2019).

En rampbevattning har som tidigare nämnt ingen fast punkt utan rör sig parallellt över åkern. När rampen når en ände vänder rampen tillbaka mot den andra änden av åkern. Hur många varv en centerpivot/linjärmaskin utför beror på grödans giva. Moderna bevattningssystem är vanligtvis elektriska då det krävs tryck för att kunna sprida vattnet. Rampbevattningssystem brukar vanligtvis ha ett vattentryck på minst fyra bar för att kunna fungera. Dock gäller denna tryck bara fram till maskinen, det brukar förekomma förluster i stamledning och därmed brukar det behövas högre vattentryck, vilket beror på dimensioneringen av bevattningssystemet (ibid.).

Det finns både fördelar och nackdelar med rampbevattningssystem. En fördel är exempelvis att mindre vattenvolym kan användas vid bevattning vilket minskar risken för förlust genom avdunstning och vindavdrift. En nackdel är dock att rampbevattningssystem generellt är dyra och kräver en större investering.

3.6 Digitala/automatiserade bevattningssystem

Automatiserade bevattningssystem är bevattningssystem som har programmerats för att kunna styras med hjälp av exempelvis en app via mobilen. Sådana system är ännu inte etablerade i Sverige, men används i större skala i andra delar av världen som exempelvis Amerika (Valmont Industries 2023). En hel del studier har också genomförts i exempelvis Afrika och Asien, detta

eftersom automatiserade system kan utnyttja vatten på ett mer hållbart och effektivt sätt (Closas & Rap 2017).

Automatiserade bevattningssystem brukar vanligtvis innefatta sensorer som kan mäta markfuktighet, pH, luftfuktighet, generell information om grödan som ska odlas, vattentillgång m.m. Därefter kan jordbrukaren få in all data igenom någon sorts programvara som därefter visar informationen visuellt via en app. En jordbrukare kan därefter igenom appen anpassa bevattningen utefter vad grödan behöver (Al-Ali et al. 2001; Islam Sakib et al. 2020). Vissa studier har även undersökt potentialen av AI baserade bevattningssystem som kan anpassa sig själva utifrån datan som samlas in ifrån sensorerna. Dessa system är dock ännu inte kommersiella i dagsläget (Abdelkerim et al. 2013; Chieochan, Saokaew & Boonchieng 2017; Islam Sakib et al. 2020).

Automatiserade bevattningssystem kan bli rätt dyra beroende på vilka sorters sensorer, samt programvara som används. Trots att dessa system kan spara på stora mängder vatten, samt ge bättre skörd är kostnaden en stor faktor till varför många jordbrukare inte vill investera i sådan system i många länder (Abayomi-Alli et al. 2018; Axelsson 2015). Dock sker en hel del forskning inom området och potentialen för dessa system är stor, speciellt inom områden med sämre tillgång till vatten (Abayomi-Alli et al. 2018; Chieochan, Saokaew & Boonchieng 2017; Harishankar, Sathish Kumar & Vignesh 2014).

3.7 Solceller

Jorden har stor tillgång av solenergi på grund av solen och dess solstrålar. Bara en minuts lagring av solens energi skulle i teorin kunna lösa jordens energianvändning och därmed förse alla med förnybar elektricitet. Solceller är en teknik som är rätt ny och ung. De första riktiga solcellerna byggdes för cirka 40 år sedan, dock har kommersialisering och satsningen av solceller ökat markant under åren. Förutom ökningen av antal företag som jobbar med att producera solceller har även forskningen kring solceller också ökat. Forskning visar att tre dagars lagring av solenergi skulle motsvara den totala mängden lagrade energi som finns i jordens fossila energikällor, dock skulle det medföra 100% effektivitet, vilket det ännu inte går att få till med dagens solceller. Under åren har effektiviteten på solceller ökat och främsta anledningen till det är involveringen av halvledare och transistorer i solceller (Ananthakumar, Kumar & Babu 2019).

Solceller är uppbyggda av antingen organiska material, oorganiska material eller en kombination av båda. I dagsläget finns det tre olika sorters solceller, dessa är första, andra och tredje generationens solceller (Ananthakumar, Kumar & Babu 2019; Günes & Sariciftci 2008; Mohammad Bagher, Mahmoud Abadi Vahid & Mohsen 2015).

Första generationens solceller

De kristallina kiselbaserade solcellerna brukar kallas för första generationens solceller. De är mest dominanta i solcellsmarknaden i dagsläget, upp mot 90% av marknaden utgörs av kiselbaserade solceller. Dock är de väldigt dyra att tillverka och inte alltid lätta att hantera (Ananthakumar, Kumar & Babu 2019; Günes & Sariciftci 2008; Mohammad Bagher, Mahmoud Abadi Vahid & Mohsen 2015).

Andra generationens solceller

Skillnaden mellan första och andra generationens solceller är främst att andra generationens solceller tillverkas på billigare sätt och använder mindre material. Dessa solceller byggs främst utav kadmiumtellurid (CdTe), kopparindiumgalliumselenid (CIGS), nanokristallint kisel (nc-Si) och amorft kisel (a-Si). När det kommer till prestanda och effektivitet är andra generationens solceller ungefär lika bra som första generationens solceller (Ananthakumar, Kumar & Babu 2019; Günes & Sariciftci 2008; Mohammad Bagher, Mahmoud Abadi Vahid & Mohsen 2015).

Tredje generationens solceller

Tanken med tredje generationens solceller är dels att kunna uppnå högre effektivitet samt minska produktions kostnaden och mängden material som används, vilket kommer resultera i billigare solceller. Skillnaden mellan de tidigare generationens solceller och tredje generationens solceller är främst val av material samt nya tekniken kring halvledarnanopartiklar (Beard, Luther & Nozik 2014; Rao & Friend 2017). Materialen som används för att bygga dessa solceller är främst hybridperovskitsolceller, kvantpricksensibiliserade solceller (QDSSC), organiska solceller och färgsensibiliserade solceller (DSSC) (Low och Lai 2018). Dock är tredje generationens solceller inte etablerade inom solcellsmarknaden då de fortfarande är i utvecklingsstadiet. Många forskare tror dock att de kommer revolutionera energisektorn framöver (Ananthakumar, Kumar & Babu 2019; Günes & Sariciftci 2008; Mohammad Bagher, Mahmoud Abadi Vahid & Mohsen 2015).

I dagsläget domineras solcellsmarknaden av fyra olika sorters solceller. Dessa är monokristallina, polykristallina, PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) och tunnfilmssolceller. Effektiviteten, kostnaden, klimatavtrycket varierar mellan dessa solceller och kommer med tiden att ändras mer då mer forskning sker inom området (Aurora 2023). Det finns både fördelar och nackdelar med solceller, några av dessa kan observeras i tabell 1

Tabell 1: För- och nackdelar med solceller (Ananthakumar, Kumar & Babu 2019; Mohammad Bagher, Mahmoud Abadi Vahid & Mohsen 2015; Wang & Xuan 2018)

Fördelar	Nackdelar
Föreningsfri	Beroende av väder
Lång livslängd	Hög tillverkningskostnad
Enkelt att underhålla	Inte effektiv nog
Robust	Förluster av energi
Krävs ingen övervakning	Kan ha hög klimatavtryck
Driftkostnaden är låg	Beroende av geografiskt område

3.8 Bevattnings med mobila solceller

I många delar av världen används fortfarande dieselpumpar för att pumpa vatten som sedan används för bevattning. Tillgång till el är också ett rätt stort problem vilket har medfört att fler

använder sig av dieselpumpar för att bevattna sina åkrar (Closas & Rap 2017; Islam Sakib et al. 2020; Rahman, Mori & Rahman 2022).

Pumpning av vatten med solceller är inget nytt concept. Metoden har använts sedan 60- och 70-talet, anledningen till varför metoden inte blev etablerad vid den tiden var den höga kostnaden på solceller. Dock har trenden börjat ändras på grund av flertal faktorer, exempelvis billigare solceller, dyrare dieselpriiser m.m. På grund av den nya trenden har mer forskning börjat implementeras inom ämnet/området. Bevattning inom jordbruk med hjälp av mobila solceller används inte i Sverige i dagsläget. Dock har metoden börjat användas i exempelvis Asien, Afrika, Nordamerika och Sydamerika där många mindre jordbruk inte har tillgång till exempelvis el eller inte har råd med att köpa diesel (Rahman, Mori & Rahman 2022; Ramli & Jabbar 2022; Roblin 2016).

Mobila solceller är solceller som kan transporteras med hjälp av exempelvis en traktor och användas på platser där elektricitet inte finns. Solcellerna är vanligtvis monterade på en anläggning/ramp med hjul under, vilket gör det enkelt att transportera de. Dessutom brukar anläggningen också användas för att kunna vinkla solcellerna på rätt sätt (Ramli & Jabbar 2022; Smart Power India 2021).

Dessa system kan exempelvis kombineras med rampbevattning (Harishankar, Sathish Kumar & Vignesh 2014). Det finns som med alla tekniker både för- och nackdelar. Största nackdelen med tekniken är just kostnaden. Många studier visar på att investeringskostnaden för ett sådant system är rätt hög jämfört med ett system som drivs med hjälp av en dieselpump, dock visar studierna även att jordbrukare kan betala av allt under två år och därmed tjäna pengar istället, vilket visar på att i längden blir det en billigare lösning jämfört med dieselpumpar, därmed är det svårt att förstå varför det inte används lika frekvent (Ghosal, Badra & Sahoo 2020; Kishore, Shah & Tewari 2014).

Angående frågan ifall ett bevattningssystem med mobila solceller kan tillgodose bevattningsbehovet på en åker eller inte är fortfarande ett frågetecken. Då de flesta studier har implementerats i mindre skala och det är svårt att veta hur systemen skulle kunna konstrueras i verklig skala (Ghosal, Badra & Sahoo 2020; Ramli & Jabbar 2022).

4 Metod

I den här studien implementerades olika metoder för att kunna svara på de olika frågeställningarna som valts ut (se sektion 2). Studien undersökte två olika bevattningssystem där ena systemet var ett potentiellt system (System 1) och det andra ett referenssystem (System 2) som jämfördes mot det potentiella systemet. Metoderna som implementerades var en semistrukturerad litteraturstudie, multikriterieanalys, semistrukturerade intervjuer samt en SWOT-analys. I den semistrukturerad litteraturstudien genomfördes ett urval av relevanta studier, samt jämförelse mellan de valda studierna med hjälp av olika sökmoterer. Multikriterieanalysen utgicks från olika kriterier för de två olika systemen, som därefter fick numeriska värden vilket gav en mer kvantitativ undersökning. De semistrukturerade intervjuerna var en undermetod inom MKAn då den gav information kring kostnader, material m.m, som sedan kunde användas till MKAn. Sist av allt sammanställdes allt med hjälp av en SWOT-analys där bara det potentiella bevattningssystemet analyserades utifrån

MKAn, tidigare studier samt de semistrukturerade intervjuerna. Nedan presenteras de ovan nämnda metoderna inklusive de olika metoderna för datainventeringen samt beräkningarna i mer detalj.

1

4.1 Antaganden och delar som togs med i studien

Här nedan presenteras de antaganden och delar som togs med i studien. Det är flertal olika faktorer som behövdes antas då inga liknande studier genomförts tidigare i stor skala. I verkligheten skulle system 2 användas för en större åker, men då denna studie har en verklighetsbaserad scenario kommer båda systemen utgå från en och samma storlek på åkern.

- Åkers storlek för system 1 är sex hektar
- Åkers storlek för system 2 är 30 hektar
- Gröda som odlas på åkern är Vall
- Distanen mellan åkern och dammen är lite mer än 67 meter (inte helt realistiskt då det brukar vara större)
- Vald jordbruk har koordinaterna (56.97666, 18.26074)
- Dammen har vatten för att kunna bevattna åkern med hjälp av IVL:s testbädd (bädden hjälper att samla in vatten)
- Klimatavtryck datan utgicks från första steget på en LCA (ej riktig LCA)
- Klimatavtryck datan tog bara hänsyn till solpanel produktion för system 1 och el användning för system 2
- Bara rampbevattning undersöktes för båda systemen
- Bara monokristallina solceller undersöktes för system 1
- Slang och rör egenskaper undersöktes exempelvis diameter, material m.m

4.2 Litteraturstudie

En semistrukturerad litteraturstudie genomfördes i studien för att kunna samla in relevant information kring de olika teknikerna som ska undersökas, exempelvis information kring mobila solceller, automatiserade bevattningssystem m.m. Litteraturstudien genomfördes främst för att undersöka vilka skillnader det finns mellan olika studier för de olika teknikerna. Databaser/sökmotorer som användes för att hitta relevanta studier var Scopus, Google och Google Scholar. Sökord användes för att hitta relevanta källor. Exempel på några sökord som användes kan observeras nedan:

- Mobila solceller
- Automated irrigation systems
- AI based irrigation systems
- Torrår på Gotland

- Bevattningsproblem på Gotland
- Irrigation with solar cells
- Robot based irrigation systems
- Smart irrigation systems
- Internet of Things

Utifrån sökningarna valdes olika studier ut och därefter togs relevant information fram för att kunna skriva bakgrunden. Mängden forskning som sker inom de olika område är rätt mycket, men det fanns inga markanta skillnader mellan de och resultaten var rätt lika mellan de olika studierna. Därav hittades det inga stora jämförelser mellan de olika studierna.

4.3 MKA (*Multikriterieanalys*)

I studien undersöktes olika system mot varandra och för att kunna genomföra detta användes metoden MKA. MKA användes för att kunna jämföra de olika systemen på ett kvantitativt sätt, ta fram ett beslutunderlag utifrån ett par valda kriterier/kategorier (se tabell 2), samt utifrån resultaten svara på frågeställningarna vilka kan observeras i sektion 2. En MKA utgörs av fem delar/steg och dessa kan observeras här nedan:

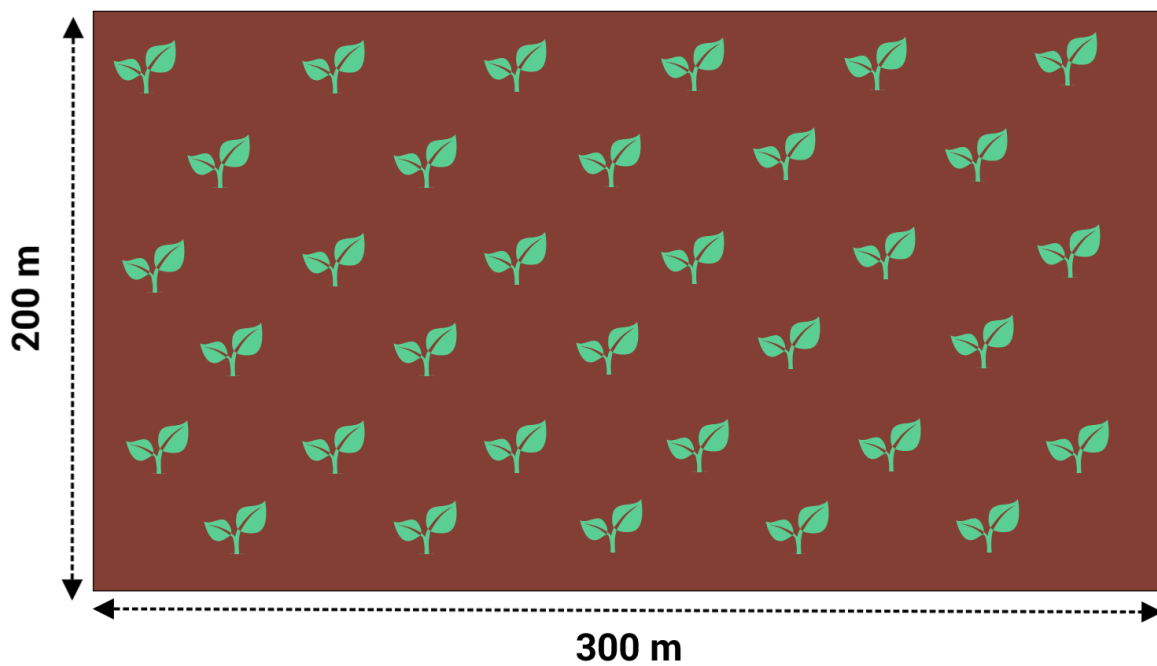
- *Steg 1: Problem specificering*
- *Steg 2: Systemavgränsningar*
- *Steg 3: Kriterier/kategorier som ska undersökas*
- *Steg 4: Analys av systemen*
- *Steg 5: Skillnader mellan systemen*

Som tidigare nämt undersöktes två olika system där den ena var ett referenssystem medan det andra var ett potentiellt system. Här nedan presenteras de olika delarna/stegen som ingår i en MKA i mer detalj, vilket även inkluderar de två olika systemens uppbyggnad.

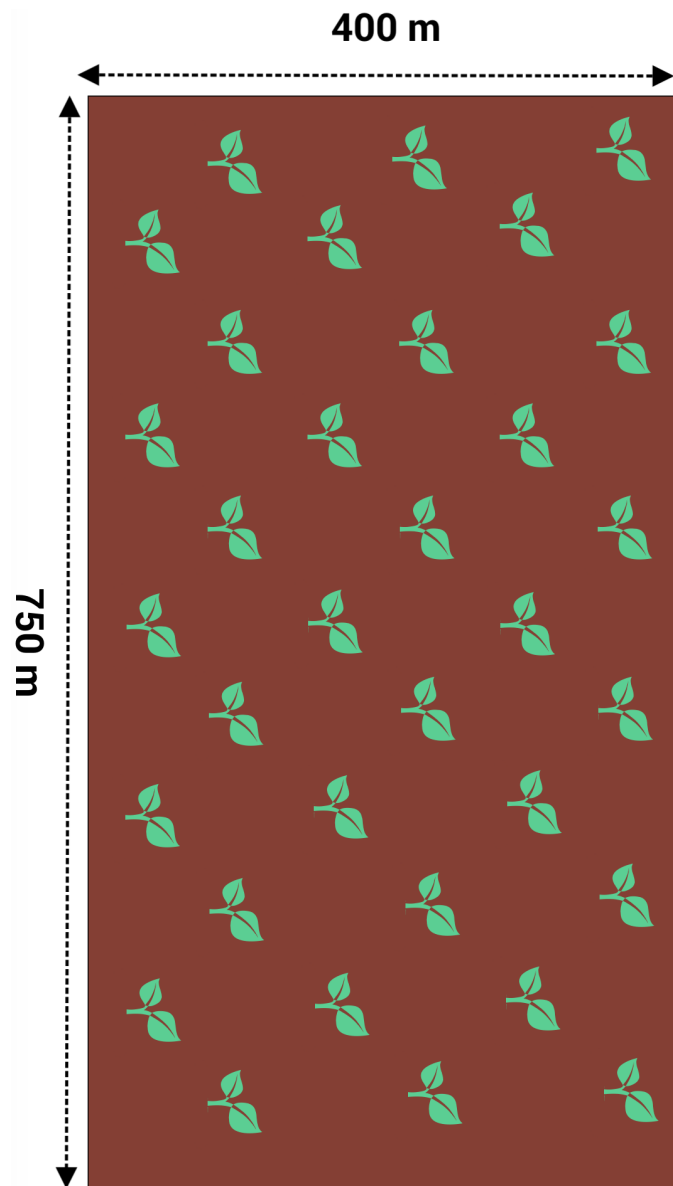
Steg 1: Område och problem specificering

I steg ett bestämdes en specifik plats/område, vilket gav en mer verklighetsbaserad överblick. Platsen som valdes var en åker på Storsudret. Åkern har koordinaterna (56.97666, 18.26074) och antogs ha en areal på cirka sex hektar för system 1 och 30 hektar för system 2 (se sektion 4.1). För den här studien valdes vall som gröda (se sektion 4.1), därav anpassades bevattningssystemen utifrån grödans giva. Det vill säga att systemen anpassades utifrån den mängd vatten som Vall behöver för att kunna tillgodose underskottet av vatten med avseende på areal, dimensionering m.m. Den valda platsen hade en närliggande damm som är placerad cirka 67 meter ifrån åkern (se sektion 4.1). Dammens dimensioner och kostnader togs inte med i denna studie. Energi frågan var ett problem då den valda platsen inte hade några el kablar dragna dit, vilket påverkar bevattningen. Därav undersöktes två olika bevattningssystem mot varandra för att kunna lösa problemet samt

få en överblick över vilka skillnader som kan uppstå. Åkrarna dimensioner kan observeras i figur 6 och 7.



Figur 6: Åkers mått för system 1



Figur 7: Åkerns mått för system 2

Steg 2: Systemavgränsningar

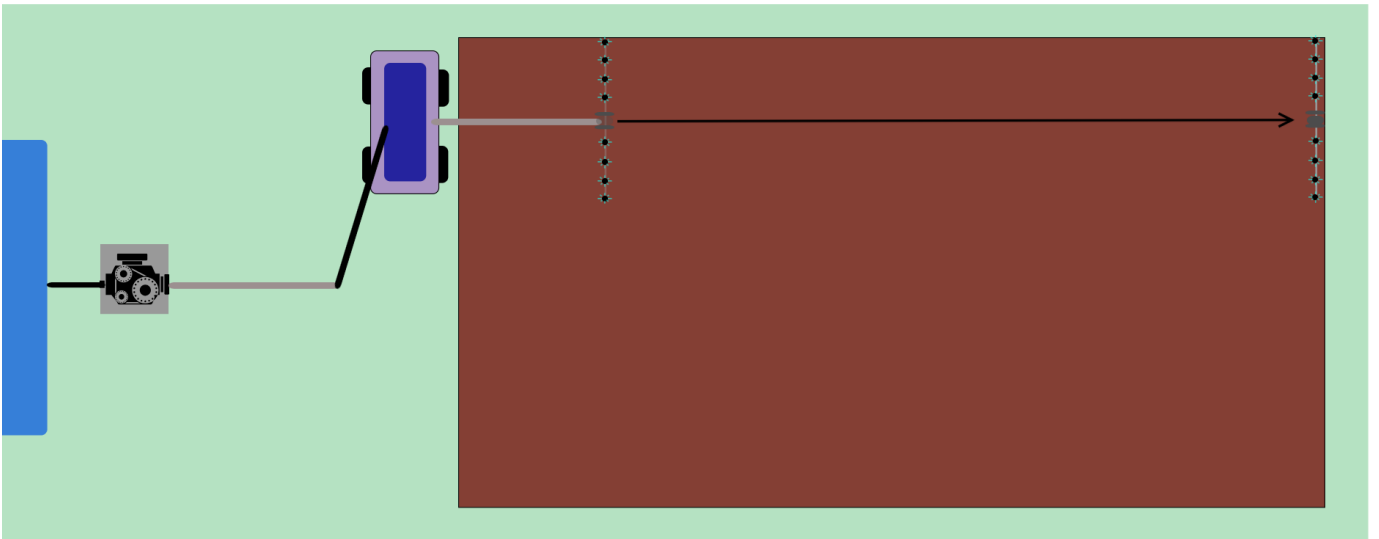
De avgränsningar som togs för studien var bland annat att konstruktionen av bevattningsdammen inte togs med, vilket innefattar exempelvis kostnader, materialanvändning m.m. Ingen programmering genomfördes för de olika systemen, samt tog inte MKAn hänsyn till robusthet då det är en kategori som är svår att kvantifiera. Med robusthet menas hur tålig ett system är mot exempelvis väder, kontinuerlig användning m.m. Sedan genomfördes ingen ordentlig LCA för de material som undersöktes, utan klimatavtrycket för de olika materialen utgicks från mängden CO₂-ekv som kan observeras från första steget i en LCA. Dessutom var klimatavtryck datan baserad på produktionen av solpaneler samt el användning och inte hela livscykeln. Hur klimatavtryck datan valdes kan observeras i sektion 4.4.2. Dessutom var kostnadsanalyserna ungefärliga och inkluderade inte små komponenter såsom kablar m.m. Här nedan presenteras de två olika systemen i mer detalj för att ge en mer verklighetsbaserad scenario.

System 1: Potentiella systemet

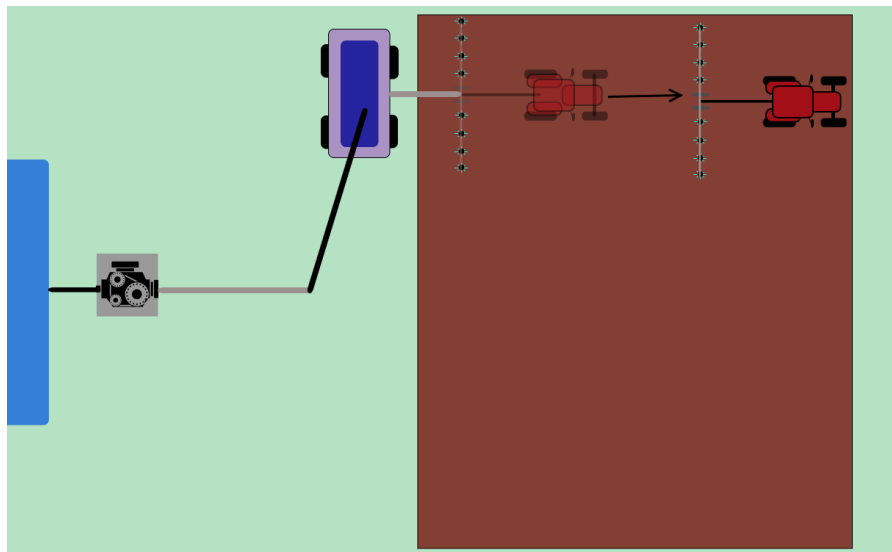
System 1 är ett helt automatiserat bevattningssystem som kommer drivas med hjälp av solenergi. Detta är också systemet som jämfördes mot referenssystemet. Detta system kommer bevattna en areal på sex hektar och kommer få sitt vatten från en damm 67 meter bort från åkern. Detta bevattningssystem kommer vara uppbyggd på det sättet att bevattningsmaskinen och rampen kommer ha inbyggda robot system, vilket gör de helt automatiserade. Dessa robot system kommer byggas upp på precis samma sätt som robotdammsugare och robotgräsklippare och kommer drivas av laddningsbara batterier. Det kommer finnas en koppling mellan pumpen och åkern igenom en stamledning som är byggd av PVC rör, vilket kommer transportera vatten till grenledningen. Grenledningen kommer vara en koppling mellan stamledningen och bevattningsmaskinen. Den kommer bestå av en 100 meter slitstark PE100 slang, vilket inte är en stor längd jämfört med hur långa sådana slangar brukar vara. Rampen kommer vara direkt kopplad till bevattningsmaskinen via en slang. Det enda bonden kommer behöva göra är att köra ut bevattningsmaskinen till ena sidan av åkern, därefter kommer rampen åka ut av sig själv parallellt med åkern till ena sidan och därefter kommer den börja sprida vatten samtidigt som bevattningsmaskinen drar in den. Efter att ha dragits in kommer rampen kopplas till bevattningsmaskinen och därefter kör bevattningsmaskinen av sig själv till nästa sektion för att sedan genomföra samma procedur som innan. Detta kommer fortsätta tills åkern blivit bevattnad. Styrsystemet kommer ha ett inbyggd GPS system, detta kommer innebära att både bevattningsmaskinen och rampen vet vart den är i åkern och hur stor åkern är precis som med en robotgräsklippare.

Ett digitalt system kommer appliceras för detta system. Det digitala systemet kommer vara byggt på detta sätt att sensorer kommer placeras inuti marken (klarar av kyla och vatten) som kommer mäta markfuktigheten och luftfuktigheten. Dessutom kommer även en väderstation/klimat sensor integreras med systemet för att få fram temperatur, vind- och nederbördsdata. All data kommer därefter att samlas i ett moln som lagrar realtidsdata (exempelvis en kraftfull logger) som sedan skickar iväg datan till en dator som bearbetar datan igenom att ta hänsyn till grödans behov och bevattningssystemet. Efter att ha bearbetat datan kommer en programvara rekommendera ett bevattningsprogram som kommer skickas till bonden via en app. Det bonden behöver göra då är att klicka på en knapp vilket kommer starta igång systemet. Allt från data lagringen, analyseringen m.m kommer appliceras med ett så kallat Internet of Things koncept som handlar om kommunikation mellan olika digitala delar.

Något som är viktigt att ta till hänsyn här är att spridarna i rampen är också programmerbara vilket betyder om ett visst område i åkern är för mättad (data från sensorerna) kommer det smarta systemet att ta in detta och se till att skicka iväg den här informationen till spridarna, detta för att området som är för mättad inte ska bevattnas. Se figur 8, 9 och 10 för en översiktlig illustration av hur system 1 rör sig.

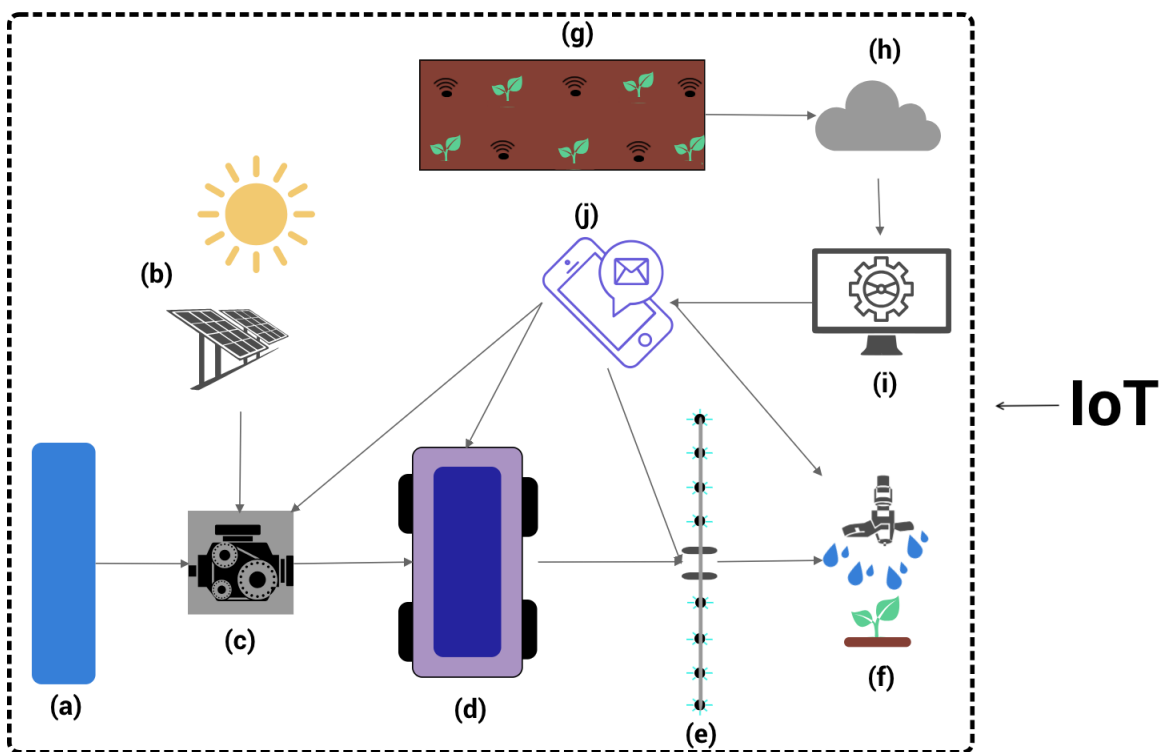


Figur 8: Robot ramp som åker till andra sidan av åkern



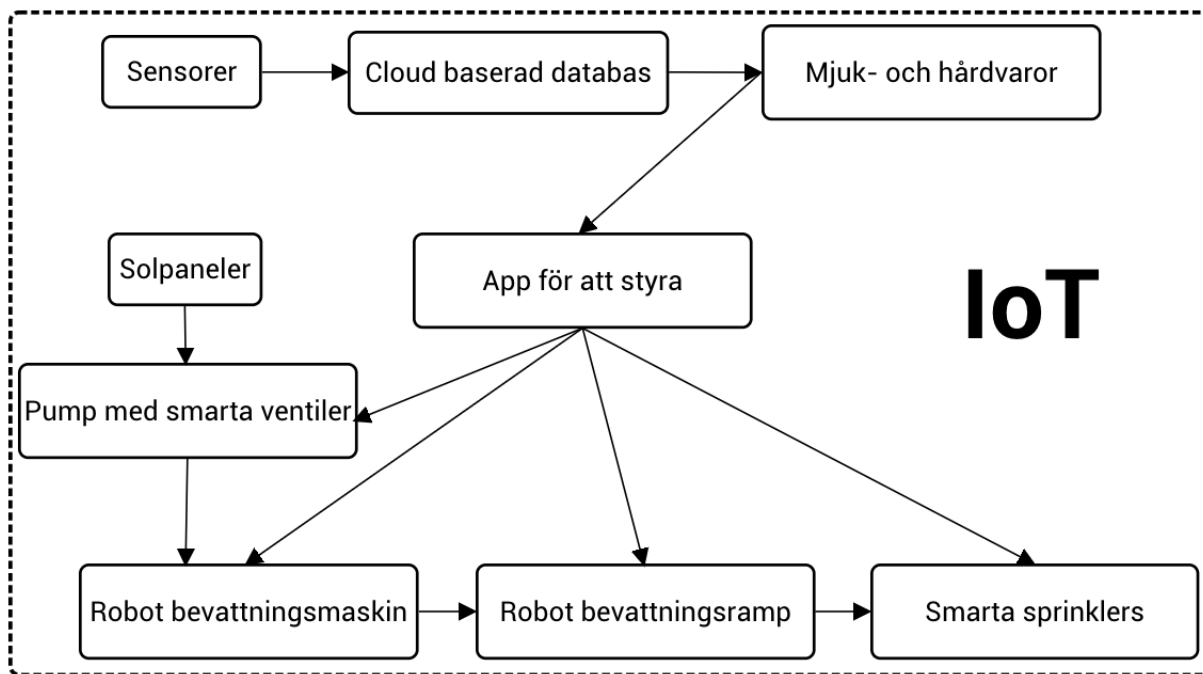
Figur 9: Robot ramp som dras in av robot bevattningsmaskinen

Figur 8 och 9 visar hur system 1 rör sig. Robot bevattningsrampen åker från ena sidan av åkern till andra sidan med hjälp av den inbyggda GPS systemet. Därefter börjar den bevattna åkern samtidigt som robot bevattningsmaskinen drar in rampen. Efter att ha bevattnat ena sektionen plockar robot bevattningsmaskinen upp robot bevattningsrampen och tar den till nästa sektion där samma procedur genomförs. Viktigt att vara uppmärksam om att dessa figurer inte illustrera verkligheten utan bara hur systemet kan potentiellt se ut.

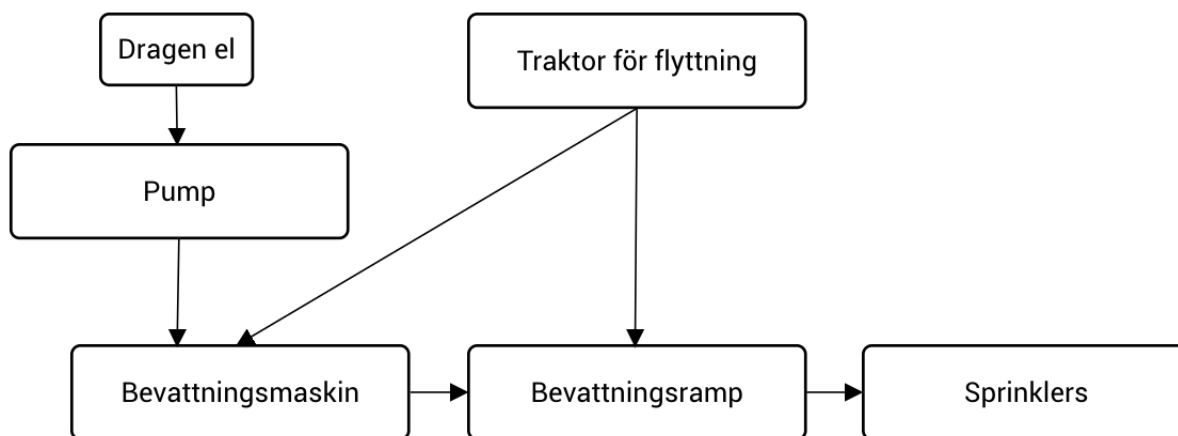


Figur 10: System komponenter för system 1

Figur 10 visar hur system 1 är uppbyggd utifrån de komponenter som används. De olika komponenterna är a) dammen, b) solcells anläggningen som ska förse energi till systemet, c) pumpen, d) robot bevattningsmaskin, e) robot bevattningsramp, f) programmerbara sprinklers, g) åker med sensorer, h) databas/cloud system, i) soft-/hardware och j) app för att styra systemet. All kommunikation för systemet genomförs med hjälp av IoT konceptet. System uppbyggnaden för system 1 kan observeras i figur 11 och system uppbyggnaden för system 2 kan observeras i figur 12. Utifrån system uppbyggnads figurerna kan det observeras att system 1 har ett par fler faktorer som måste tas till hänsyn. För mer information kring dimensionerings beräkningarna se bilaga



Figur 11: System uppbyggnad för system 1



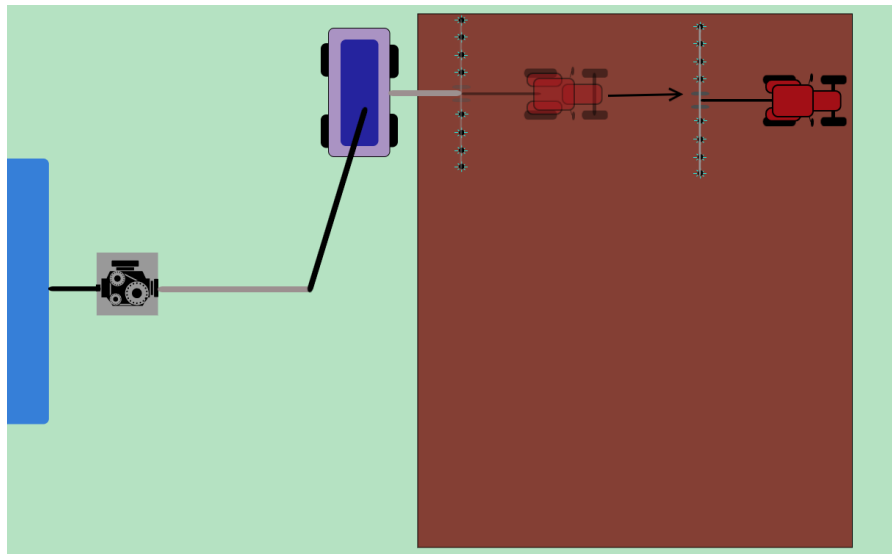
Figur 12: System uppbyggnad för system 2

System 2: Referenssystemet

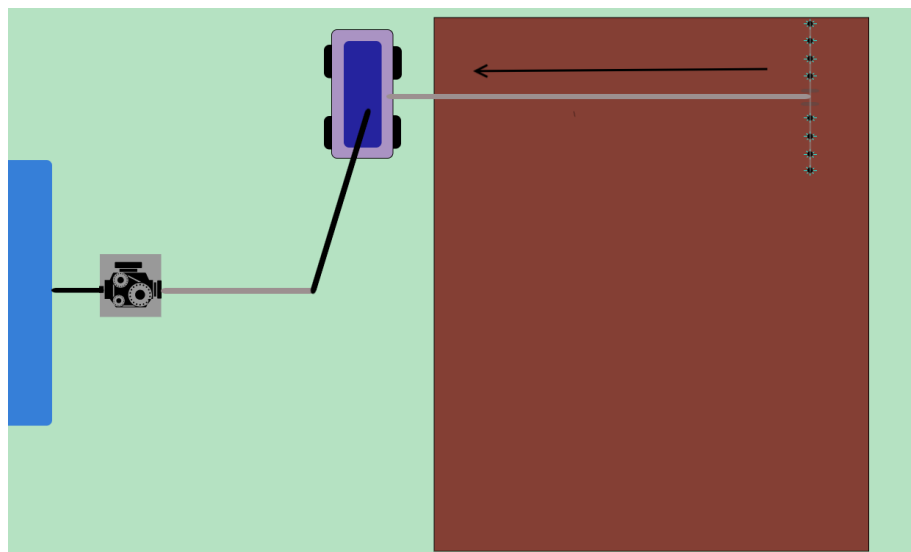
System 2 är ett referenssystem då system är anpassat till verkligheten. Utifrån detta analyserades inte systemet utan användes för att se vilka skillnader det finns mot system 1. Detta system får sin elektricitet från elnätet, vilket kräver dragning av elkablar till åkern. Bevattning med detta system kommer utföras med ett rampbevattningssystem vilket inkluderar en stamledning, grenledning, pump, bevattningsmaskin och en ramp. Systemet kommer bevattna en areal på cirka 30 hektar, där vall är grödan som ska odlas, samt få sitt vatten ifrån bevattningsdammen som ligger cirka 67 meter ifrån åkern. Det kommer finnas en koppling mellan pumpen och åkern igenom en stamledning som är byggd av PVC rör, vilket kommer transportera vatten till grenledningen. Grenledningen kommer vara en koppling mellan stamledningen och bevattningsmaskinen. Den

kommer bestå av en 375 meter slitstark PE100 slang, vilket inte är en stor längd jämfört med hur långa sådana slangar brukar vara.

Bevattningen kommer ske igenom att jordbrukaren kör ut rampen med hjälp av en traktor till ena änden av åkern, därefter sätts pumpen igång vilket skulle pumpa vattnet till bevattningsmaskinen som sedan skickar iväg vattnet till rampen med hjälp av en slang. Rampen börjar därefter sprida vattnet samtidigt som bevattningsmaskinen drar in slangen och därmed rampen. Efter att ha bevattnat klart en sektion skulle bevattningsmaskinen transporteras till nästa sektion och samma procedur som innan genomförs för att bevattna sektionen. Se figur 13, 14 och 15 för en översiktlig illustration av systemet.



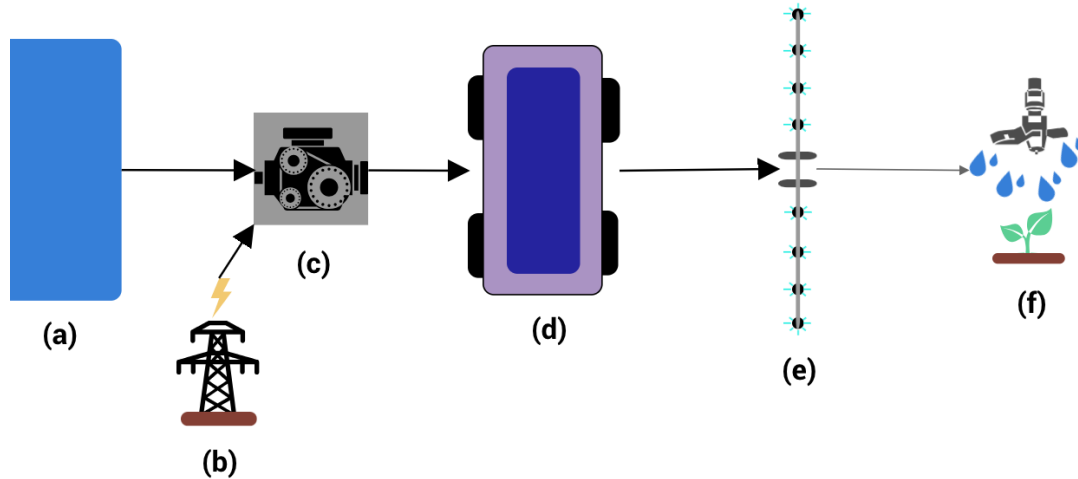
Figur 13: Traktor som drar rampen till andra sidan åkern



Figur 14: Ramp som dras in av bevattningsmaskinen

Figur 13 och 14 visar hur system 2 rör sig. En traktor kör bevattningsrampen från ena sidan av

åkern till andra sidan. Därefter börjar den bevattna åkern samtidigt som bevattningsmaskinen drar in rampen. Efter att ha bevattnat ena sektionen plockar bevattningsmaskinen upp bevattningsrampen därefter transporteras maskinen samt rampen till nästa sektion där samma procedur genomförs. Precis som med system 1 är det viktigt att vara uppmärksam om att dessa figurer inte illustrera verkligheten utan bara hur systemet kan potentiellt se ut.



Figur 15: System komponenter för system 2

Figur 15 visar hur system 2 är uppbyggd utifrån de komponenter som används. De olika komponenterna är a) dammen, b) el från elnätet som ska förse energi till systemet, c) pumpen, d) bevattningsmaskin, e) bevattningsramp och f) sprinklers.

Steg 3: Kriterier/kategorier som ska undersökas

Kriterierna som valdes ut för studien utgicks främst från olika faktorer som har en stor betydelse inom jordbruksbevattning. De kriterier som valdes ut och hur de analyserades kan observeras i tabell 2. Detaljer kring de olika kriterierna kan observeras här nedan också.

Tabell 2: Utvalda kriterier för studien

Kriterier	Analys metod
Energianvändning	Egna beräkningar och extern kommunikation
Klimatpåverkan	Egna beräkningar
Vattenanvändning	Tidigare studier
Skördemängd	Tidigare studier
Kostnad	Intervjuer, extern kommunikation och egna beräkningar

Energianvändning

- Denna kriterie undersökte mängden energi som varje system kommer använda sig av för att kunna genomföra bevattningen. Energianvändningen har en stor betydelse för klimatpåverkan, samt kostnaden. Datan för energianvändningen utgicks från egna beräkningar och extern kommunikation

Klimatpåverkan

- Denna kriterie undersökte mängden växthusgaser som bildas för var och en av systemen utifrån energiförbrukning och hur energin produceras. Datan kom från Ecoinvent, egna beräkningar samt tidigare studier

Vattenanvändning

- Kriteriet vattenanvändning utgicks bara utifrån hur mycket vatten båda system utnyttjar för att bevattna åkern. Kriteriet är relevant då vattnet inte utnyttjas lika effektivt i dagsläget. Datan ficks från intervjuer, extern kommunikation och tidigare studier

Skördemängd

- Skördemängd utgicks bara utifrån hur mycket skörd som potentiellt kan fås om grödorna bevattnas. Datan ficks från extern kommunikation och tidigare studier

Kostnad

- Kostnads kriteriet undersökte investerings- samt kapitalkostnaden för de två olika systemen. Kostnaden påverkar beslutfattandet kring investeringen som en jordbrukare behöver göra. Datan för denna kriterie utgicks från intervjuer, extern kommunikation, samt egna beräkningar

Steg 4: Analys av systemen

Studien undersökte två olika bevattningssystem. Analysen av de båda systemen genomfördes med hjälp av kriterierna ovan (se tabell 2). För att kunna genomföra analyseringarna samt för att kunna avgöra vilka skillnader det finns mellan systemen, användes tidigare studier, litteratur och beräkningar. Förutom beräkningar m.m gav även extern kommunikation väsentlig information vilket kunde användas för att genomföra beräkningar med mera.

Steg 5: Jämförelse mellan systemen

Jämförelsen mellan systemen genomfördes med hjälp de kvalitativa värdena som beräknades fram för de båda systemen utifrån de kriterier som valdes ut (se tabell 2). Vanligtvis brukar en MKA poängsättas, men det brukar användas för system som är helt nya. I detta fall är en av system 1 referenssystem medan den andra är ett potentiellt system. Därav blir det ingen poängsättning utan bara en jämförelse mellan det ena systemet mot den andra.

4.4 Datainventering samt beräkningar

En del data behövde hanteras i studien och detta avsnitt beskriver vart datan har tagits ifrån, samt vilken sorts data som hämtas in. Data som hämtats in är exempelvis data för klimatpåverkan, material, skördemängd m.m. För mer detaljerad information se nedan.

4.4.1 Dimensionering och Energi

Tabell 3: Olika faktorer som användes för dimensionsberäkningar

Faktor	Bestämmelse	Enhet	Referenser
Gröda	Vall	-	Antogs
Åker storlek (system 1)	6	[ha]	Antogs
Åker storlek (system 1)	30	[ha]	Antogs
Framtida bevattningsbehov	238	[mm]	Jordbruksverket (2018)
Giva per omgång båda systemen	21	[mm]	Antogs
Vall behov	3 (30)	[mm/dygn] (m ³ /ha/dygn)	Antogs
Effektiv bevattnings tid (system 1)	10	[h]	Antogs
Effektiv bevattnings tid (system 2)	14	[h]	Antogs
Antal omgångar	11	[Tillfällen]	Valdes
Inner diameter PVC rör (system 1)	101,4	[mm]	Valdes
Inner diameter PVC rör (system 2)	147,6	[mm]	Valdes
Inner diameter PE slang (system 1)	101,4	[mm]	Valdes
Inner diameter PE slang (system 2)	147,6	[mm]	Valdes
Skrovlighetsfaktor (rör och slang)	147	-	Antogs
Sughöjd för pump	2	[m]	Antogs
Höjdskillnad	0	[m]	Antogs
Tryck i bevattningsmaskin	71,4	[mvp]	Intervjuer
Tryck i ramp (system 1)	14,3	[mvp]	Intervjuer
Tryck i ramp (system 2)	20,4	[mvp]	Intervjuer
Längd stamledning	67	[m]	Antogs
Längd grenledning 1 (system 1)	100	[m]	Antogs
Längd grenledning 1 (system 2)	375	[m]	Antogs
Längd grenledning 2 (system 1)	300	[m]	Antogs
Längd grenledning 2 (system 2)	400	[m]	Antogs
Slang mellan pump och damm	2	[m]	Antogs

Data för dimensionering av bevattningssystemen utgicks från tidigare studier samt extern kommunikation. Data som hämtades in var exempelvis giva, bevattningstid, längden på åkern m.m. För mer detaljerad information kring data för dimensionering se tabell 3 och bilaga 8.3.

Beräkningarna för dimensioneringen för de båda bevattningssystem utgicks från nedanstående ekvationer. Viktigaste faktorn för att få fram dimensioneringen var att få fram flödet i en ramp. Detta kunde beräknas fram med hjälp av ekvation 1. Flödet beräknades fram igenom att först

multipluera åkerns areal med behovet som Vallen behöver och därefter dividera med den effektiva bevattningstiden. I denna studie var vall behovet samma för både system 1 och 2 nämligen 3 mm/dygn vilket motsvarar 30 m³/ha/dygn. Storleken på åkern varierade dock mellan systemen där system 2 har en fem gånger större areal jämfört med system 1. Den effektiva bevattningstiden varierade också då system 2 kan bevattnas under en längre tid. Detta på grund av att den får elektricitet från elnätet. Den effektiva bevattnings tiden för system 1 var 10 timmar och för system 2 var den 14 timmar. För numeriska beräkningar se bilaga 8.1.1

Efter att ha beräknat fram flödet för båda systemen kunde genomströmningen för var och en av systemen beräknas fram. Detta gjordes med hjälp av ekvation 2. Genomströmningen beräknades fram igenom att multiplicera flödet med 1 000 och därefter dividera med 3 600. Vilket gav en genomströmning på L/s. Därefter beräknades friktionsförlusterna fram för de olika rören och slangarna som används för de båda systemen. För att genomföra denna beräkning användes ekvation 3 där (q) är genomströmningen (D) är diametern för de olika rören och slangarna och (c) är skrovlighetsfaktor vilket valdes till 147. Diametern för system 1 valdes till 101,4 mm och 147,6 för system 2. Dessa mått valdes efter att ha testat olika diametrar som finns tillgängliga i marknaden i dagsläget och därefter se vilken diameter som gav lägst friktionsförlust. För numeriska beräkningar se bilaga 8.1.1

Totala bevattningstiden som det tar för att bevattna de olika åkrarna kunde beräknas fram med hjälp av ekvation 4. Vid beräkning av totala bevattningstiden multiplicerades först givan per omgång med den effektiva bevattningstiden som därefter dividerades med Vallens behov. Giva per omgång valdes till 21 mm för båda systemen, Vall behovet till 3 mm/dygn och den effektiva bevattningstiden var 10 timmar för system 1 och 14 timmar för system 2. Därefter behövdes antal omgångar beräknas fram och detta kunde göras med ekvation 5 igenom att dividera den framtida bevattningsbehovet med givan per omgång. Framtida bevattningsbehovet var 238 mm och givan per omgång var 21 mm. För numeriska beräkningar se bilaga 8.1.1.

$$Flöde \text{ per omgång } [m^3/h] = \frac{\text{Åkerns areal} \cdot \text{Vall behov}}{\text{Effektiv bevattningstid}} \quad (1)$$

$$q \left[\frac{L}{s} \right] = \frac{Flöde \text{ per omgång} \cdot 1\,000}{60 \cdot 60} \quad (2)$$

$$H_f = \frac{1.21 \cdot 10^{10} \cdot L \cdot \left(\frac{q}{c}\right)^{1.852}}{D^{4.87}} \quad (3)$$

$$\text{Total timmar bevattning} = \frac{\text{Giva per omgång} \cdot \text{Effektiva bevattningstid}}{\text{Vall behov} \cdot 24} \quad (4)$$

$$\text{Antal omgångar} = \frac{\text{Framtida bevattningsbehov}}{\text{Giva per omgång}} \quad (5)$$

Tabell 4: Olika faktorer som användes för energi beräkningar

Faktor	Bestämmelse	Enhet	Referenser
Solpanel effekter som undersöks	360-460	[W]	Hemming (2023)
Totala effekt solpaneler	~ 1 kW mer än beräknat	[W]	Antogs
Pump effektivitet	85	[%]	Joel (2023)

Datan för energi mängden kommer främst från motorn, det vill säga den mängd energi som krävs för att systemet ska kunna fungera. Mycket av datan kommer från intervjuer och extern kommunikation. Beräkningarna för energianvändningen togs fram med hjälp av ekvation 6-11. Observera att ekvation 8 användes för system 1 då energin kommer fås från solpaneler. Observera att den total motorstyrkan för system 1 hade 1 kW mer än det fram räknade värdet. Detta för att få en högre effekt och se till att energianvändningen kan uppnås för att kunna hålla igång pumpen. Först av allt beräknades den erforderliga pumptrycket fram med hjälp av ekvation 6. Detta igenom att addera alla friktionsförluster som beräknades fram via ekvation 3.

Därefter beräknades effektbehovet fram igenom att multiplicera den erforderliga pumptrycket med det totala flödet från ekvation 1 och sedan dividera med 3,65 multiplicerat med 85. Ekvationen 7 användes för detta. Utifrån effektbehovet kunde motorstyrkan för båda systemen beräknas fram då igenom att använda ekvation 8 för system 1 och ekvation 9 för system 1. Därefter dividerades motorstyrkan för båda systemen med deras arealer för att få kW/ha, detta igenom att använda ekvation 10. Sedan användes ekvation 11 för att beräkna fram antalet solpaneler som kommer behövas för system 1. Detta igenom att att multiplicera motorstyrkan med 1 000 för att göra om kilowatt till Watt och därefter dividera med olika Watt effekter på solpaneler. Se tabell 4 för numeriska värden för de olika delarna och bilaga 8.1.1 för dessa numeriska beräkningar.

$$Erfoderligt \text{ pumptryck } [mvp] = \text{Summan av alla friktionsförluster} \quad (6)$$

$$Effektbehov \text{ } [kW] = \frac{Erfoderligt \text{ pumptryck} \cdot \text{Totala flödet}}{3.67 \cdot 85} \quad (7)$$

$$Motorstyrka \text{ system } 1 \text{ } [kW] = (Effektbehov \cdot 1.1) + 1 \quad (8)$$

$$Motorstyrka \text{ system } 2 \text{ } [kW] = Effektbehov \cdot 1.1 \quad (9)$$

$$Motorstyrka \text{ per hektar } [kW/ha] = \frac{Motorstyrka}{Antalhektar} \quad (10)$$

$$Antal \text{ solpaneler} = \frac{Motorstyrka \cdot 1 \text{ } 000}{W_e} \quad (11)$$

Tabell 5: Olika faktorer som användes för solpanel beräkningar

Faktor	Bestämmelse	Enhet	Referenser
Kvadrat meter solpanel per kW	6	[m ² /kW]	SolcellsOfferter (u.å.)

För att avgöra hur stor yta i kvadratmeter som kommer krävas för att kunna tillgodose pumpens energianvändning/behov användes ekvation 12. Vid beräkningen multiplicerades antal kvadratmeter solpanel per kilowatt med antalet kilowatt som krävs för system 1. Se tabell 5 för numeriska värden och bilaga 8.1.1 för mer information kring hur dessa beräkningar genomfördes.

$$\text{Antal kvadratmeter} = \text{Kvadratmeter solpanel per kW} \cdot \text{Antal kW} \quad (12)$$

4.4.2 Material

Tabell 6: Material som används för system 1 och deras egenskaper

Material	Pris	Livslängd [år]	Ränta [%]	Moms [%]	Referenser
Robot bevattningsmaskin	~ 450 000 [kr/st]	Antogs till 30	4	25	Koerhuis (2022) och Lagnelöv et al. (2021) och Intervjuer
Robot bevattningsramp	~ 400 000 [kr/st]	Antogs till 30	4	25	Koerhuis (2022) och Lagnelöv et al. (2021) och Intervjuer
Pump	~ 250 000 [kr/st]	20	4	25	Ayodele, Ogunjuyigbe & Amusan (2018) och Bevattningsteknik (2023) och Intervjuer
PVC rör	142 [kr/m]	Antogs till 30	4	25	Bevattningsteknik (2023) och Intervjuer
PE100 slang	160 [kr/m]	Antogs till 30	4	25	Intervjuer
Solpanel	1 832 [kr/m ²]	30	4	25	SolcellsOfferter (u.å.) och Intervjuer
Sensor	~ 3 064 [kr/st]	Antogs till 30	4	25	Sharma (2019)
Smarta sprinklers	-	-	-	-	-
Väderstation	~ 2 695 [kr/st]	Antogs till 30	4	25	Amazon (2023) och Moore (2018)
Databas station	-	-	-	-	-

Tabell 7: Material som används för system 2 och deras egenskaper

Material	Pris	Livslängd [år]	Ränta [%]	Moms [%]	Referenser
Bevattningsmaskin	~ 375 000 [kr/st]	Antogs till 30	4	25	Intervjuer
Bevattningsramp	~ 150 000 [kr/st]	Antogs till 30	4	25	Intervjuer
Pump	~ 250 000 [kr/st]	20	4	25	Ayodele, Ogunjuyigbe & Amusan (2018) och Bevattningsteknik (2023) och Intervjuer
PVC rör	142 [kr/m]	Antogs till 30	4	25	Bevattningsteknik (2023) och Intervjuer
PE100 slang	160 [kr/m]	Antogs till 30	4	25	Intervjuer
El dragning	417,3 [kr/m]	Antogs till 30	4	25	Energimarknadsinspektionen (2023)
Ramp flyttning	300 [kr/h]	-	-	-	Joel (2023)
Ramp flyttning (inte bonden)	400 [kr/h]	-	-	-	Joel (2023)

Datan för material utgicks främst från litteratur studien, de semistrukturerade intervjuerna samt extern kommunikation med olika aktörer inom branchen. Inga beräkningar genomfördes för detta utan främst användes datan som referensdata, vilket betyder att den inhämtade informationen togs direkt in som resultat. Tidigare studier där material data hämtades in från var exempelvis Abayomi-Alli et al. (2018), Abdelkerim et al. (2013), samt andra relevanta studier vilka valdes ut från litteraturstudien. I tabell 6 och 7 kan de olika material och vissa av deras egenskaper såsom livslängd samt ränta observeras. Kostnaderna är ungefärliga, speciellt för robot komponenterna, vilket också kan observeras från tabellerna. Detta betyder att i verkligheten kan kostnaderna variera markant. Räntan för de olika produkterna antogs till 4% utifrån Håkansson (2011) och VISS (u.å.) och momsen till 25 % för alla produkter (Skatteverket u.å.).

4.4.3 Klimatpåverkan

Tabell 8: Olika faktorer som användes för klimatpåverkan beräkningar

Faktor	Bestämmelse	Enhet	Referenser
Nordisk el mix	50	[g CO ₂ -ekv/kWh]	Vattenfall (2023)

Datan för klimatpåverkan utgicks från Ecoinvent och egna beräkningar. Värdena innefattade utsläppsdata från material produktion. Dock ingick inte all material i beräkningarna, utan det uppkom vissa avgränsningar kring vilka material som togs med i studien och inte. Se tabell 6 och 7 för mer information kring vilka material som togs med. För denna studie utgicks klimatpåverkan från energianvändningen då det inte alltid används förnybar energi. Energianvändningen kan konverteras om till CO₂-ekv, detta igenom att använda ekvation 13 för system 1 och ekvation 14 för system 2. Där 50 är en emission faktor som används för att kunna konvertera om energi till CO₂-ekv (Vattenfall 2023). Sist av allt dividerades emissionen för systemen med deras arealer genom

ekvation 15 Se tabell 8 för numeriska värden och biliaga 8.1.2 för mer information kring hur dessa beräkningar genomfördes.

$$Emissioner \text{ från energi} = Energi \text{ användningen system } 1 \cdot 50 \cdot Antal \text{ kvadratmeter} \quad (13)$$

$$Emissioner \text{ från energi} = Motorstyrka \text{ system } 2 \cdot 50 \cdot drifttid \quad (14)$$

$$Emission \text{ per hektar } [kW/ha] = \frac{Emission}{Antalhektar} \quad (15)$$

4.4.4 Vattenanvändning

Tabell 9: Olika faktorer som användes för vattenanvändningens beräkningar

Faktor	Bestämmelse	Enhet	Referenser
Mängd behov vatten	238	[mm]	Joel, Nilsdotter-Linde & Wesström (2022)
Antal hektar (system 1)	6	[ha]	Antogs
Antal hektar (system 2)	30	[ha]	Antogs

Datan för vattenanvändning kommer från tidigare studier samt litteratur studien samt extern kommunikation. Kriteriet undersökte mängden vatten som används av båda systemen per hektar. Beräkning av vattenanvändningen utgicks från behovet som grödan Vall behöver under en bevattningssäsongen multiplicerat med 1,5 och dividerad med 1 000 för att få mängden i meter. Beräkningen genomfördes med ekvation 16. Därefter multiplicerades det värdet med systemens arealer i m² för att få mängden vatten från meter till m³. Vilket gav den totala mängden vatten som behövs för bevattning för var och en av arealerna, därefter dividerades mängden med antal hektar vilket gav ett värde i m³/ha. Denna beräkning utfördes med ekvation 17. Se tabell 9 för numeriska värden och biliaga 8.1.3 för mer information kring hur dessa beräkningar genomfördes.

$$Vatten \text{ mängd} = \frac{Bevattnings \text{ behov} \cdot 1,5}{1000} \quad (16)$$

$$Vatten \text{ användning per hektar} = \frac{Vatten \text{ mängd} \cdot areal \text{ i } m^2}{hektar} \quad (17)$$

4.4.5 Skördemängd

Tabell 10: Olika faktorer som användes för skörd beräkningar

Faktor	Bestämmelse	Enhet	Referenser
Skörd normalår	5 123-5 390	[kg/ha]	Jordbruksverket (2022b)

Datan för skördemängd kommer från tidigare studier och som undersökt hur mycket skörd som kan fås under i medel under ett år. Datan för skördemängd för Gotland utgicks från 2022 och 2023 där ett medelvärde beräknades fram för potentiell skördemängd. Därefter beräknades den totala mängden skörd fram för var och en av systemen genom ekvation 18. Se tabell 10 för numeriska värden och bilaga 8.1.4 för mer information kring hur dessa beräkningar genomfördes.

$$Total \text{ mängd skörd} = Medelvärde \cdot Areal \quad (18)$$

4.4.6 Kostnad

Tabell 11: Olika faktorer som användes för kostnadsberäkningar

Faktor	Bestämmelse	Enhet	Referenser
Nordisk el mix	50	[g CO ₂ -ekv/kWh]	Vattenfall (2023)
El vid solpanel produktion (monokristallin)	4,71	[kWh/m ²]	Ecoinvent (u.å.)
Antal sensorer	44	[st]	Sharma (2019)
El dragning	900	[m]	Filipsson (2023)
Rampstorlek	36	[m]	Intervjuer
Timmar per ramp flyttning	~ 1	[h]	Joel (2023)
Kostnad per ramp flyttning	300	[kr/h]	Joel (2023)
Antal flyttningar	20	[st]	Joel (2023)
Pris solceller	2 667	[kr/m ³]	(SolcellsOfferter u.å.)

Datan för kostnader togs fram igenom litteraturstudien, extern kommunikation och intervjuer. Datan för kostnaderna är ungefärliga då det potentiella systemet inte har implementerats i storskala. Kostnadsberäkningarna genomfördes med hjälp av ekvation 19-21. Beräkningarna genomfördes med hjälp av annuitetsmodellen (myndigheten u.å.). Annuitetsmodellen tar hänsyn till ett par faktorer nämligen livslängden (T) på den produkt/tjänst som köps in samt räntan (R) för varje produkt/tjänst (se ekvation 20). Först beräknades investeringskostnaden fram igenom att addera investeringskostnaderna för var och en av de inköpta produkterna och därefter multiplicerad med momsen. Observera även att vid investeringskostnaden för solceller drogs 20% av på grund ett grönt avdrag. Sedan används 20 för att beräkna fram annuitetsfaktorn för den specifika produkten/tjänsten som köps in igenom att sätta in räntan och livslängden för var och en av komponenterna. Sista beräkning är kapitalkostnaden vilket tas fram med hjälp av ekvation 21. Därefter beräknades kapitalkostnaden, vilket är kostnaden som en verksamhet ska betala av varje år utifrån investeringskostnaden (Boverket 2018; VISS u.å.). Beräkningen genomfördes igenom att multiplicera investeringen för varje komponent med dess annuitetsfaktor.

För den här studien blir kapitalkostnaden det belopp som en jordbrukare kommer behöva betala av per år för ett bevattningssystem. För mer detaljerad information kring kostnadsberäkningarna och hur de genomfördes se bilaga 8.1.5.

$$Investeringskostnad = Kostnad; \text{ vid inköp} \cdot Mängd / Längd \cdot av \cdot produkt \cdot Moms \quad (19)$$

$$\text{Annuitetsfaktorn } A = \frac{\frac{R(\%)}{100} \cdot (1 + \frac{R(\%)}{100})^T}{(1 + \frac{R(\%)}{100})^T - 1} \quad (20)$$

$$\text{Kapitalkostnad/år} = \text{Investeringskostnad} \cdot A \quad (21)$$

För system 2 tillkommer även kostnad för att flytta rampen manuellt med en traktor. Datan för dessa kostnader beräknades genom extern kommunikation och ekvation 22-23. Först användes ekvation 22 genom att dividera åkerns bredd med rampens bredd. Därefter beräknades totala kostnaden fram för alla flytt genom att multiplicera kostnaden per flytt med antal flytt som krävs. Beräkningen genomfördes med hjälp av ekvation 23. Kostnaden per flytt indikerar beloppet per timme och antal flytt beror på rampstorlek samt storleken på åkern. Observera dock att kostnaden gäller bara för 20 flyttningar, i verkligheten kommer det behövas fler flyttningar. Sist av allt dividerades kapitalkostnaden med systemens areal för att se skillnaden i kostnaden. Se bilaga 8.1.5 för mer information kring beräkningarna. Se tabell 11, 6 och 6 för numeriska värden och bilaga 8.1.5 för mer information kring hur dessa beräkningar genomfördes.

$$\text{Antal flytt} = \frac{\text{Åkerns bredd}}{\text{Rampens bredd}} \quad (22)$$

$$\text{Total kostnad för flytt} = \text{Kostnad per flytt} \cdot \text{Antal flytt} \quad (23)$$

4.4.7 Intervjuer

Intervjuerna var semistrukturerade som tidigare nämnt. Intervjuerna genomfördes för att få en mer verklighetsbaserad bild över hur bevattningsmarknaden ser ut när det kommer till teknik, kostnad, energiförbrukning, digitalisering m.m. Dessutom genomfördes intervjuer även inom solcellsmarknaden, även där för att få information kring vilka solpaneler som används mest i Sverige och vilka som är bäst lämpad för svenska förhållanden. Innan intervjuerna genomfördes kontakades olika aktörer inom bevattningssektorn, solcellsmarknaden samt forskningssektorn. Efter initial kontakten bokades ett möte in via Zoom där intervjun sedan genomfördes. Vissa initiala frågor ställdes vilka kan observeras i bilaga 8.2. Därefter ställdes följdfrågor under intervjuens gång. Mer information kring vilka sorters frågor som ställdes kan observeras i bilaga 8.2 och 8.3.3.

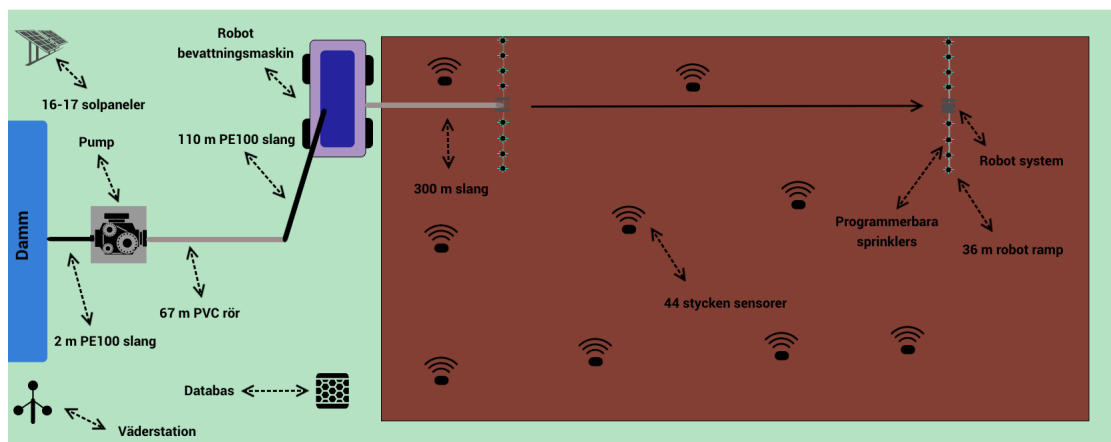
4.5 SWOT-sammanställning

En SWOT-sammanställning består av fyra delar nämligen Styrkor (S), Svagheter (W), Möjligheter (O) och Hot (T). Metoden används för att undersöka en produkt och dess potential i marknaden. Detta görs ingenom att undersöka vilka styrkor och svagheter det finns med en produkt, samt vilka möjligheter och faror det finns inom marknaden. Sammanställningen implementerades för att få en mer verklighetsbaserad bild över hur stor potential system 1 har, samt vilka faktorer som kan påverka system 1 negativt. Metoden grundade sig främst utifrån kriterierna från MKAn samt viss del från intervju svaren.

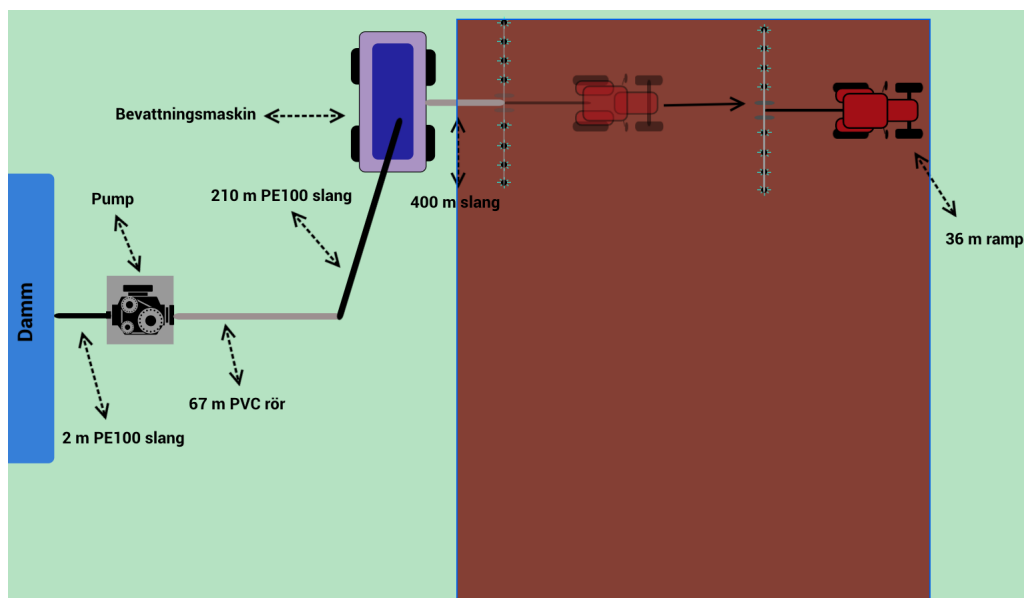
5 Resultat

5.1 Dimensionering och system uppbyggnad

Dimensioneringen för båda systemen är anpassade efter hur de skulle kunna se ut i verkligheten. System 1 är liten jämfört med system 2. Detta beror på storleken på åkern som är fem gånger större för system 2 jämfört med system 1. Här nedan presenteras de framräknade resultaten för dimensioneringen, system uppbyggnaden samt illustrationer kring hur systemen kan se ut. Figur 17 visar en illustration samt dimensionerna för system 2 och figur 16 visar en illustration samt dimensionerna för system 1. Utifrån figurerna kan det observeras att system 2 har samma lite större dimensioner för slangar och rör jämfört med system 1, men system 1 har dock fler komponenter jämfört med system 2. För mer information kring dimensionerings beräkningarna se bilaga 8.1.1, 8.3.1 och 8.3.2.



Figur 16: Dimensionering av system 1



Figur 17: Dimensionering av system 2

Tabell 12 visar resultat från de olika beräkningarna. Utifrån tabellen kan det observeras att system 1 har ett lägre värde på varje faktor, vilket beror enbart på att system 2 är större, på grund en större areal på åkermarken.

Tabell 12: Resultat av dimensioneringsberäkningar

System 1		
Flöde [m^3/ha]	Genomströmning [L/s]	Totalt H_f
19	5,3	90
Bevattningsstid [dygn]	Antal omgångar	Motorstyrka [KW]
3	11	7
System 2		
Flöde [m^3/ha]	Genomströmning [L/s]	Totalt H_f
50	14	97
Bevattningsstid [dygn]	Antal omgångar	Motorstyrka [kW]
4	11	7

5.2 Energianvändning, Klimatpåverkan, Vattenanvändning, Skördemängd, Kostnad

Nedan presenteras de olika resultat som togs fram för de valda kriterierna (se tabell 2) utifrån insamlad data, intervjuer, litteraturstudien, beräkningar samt extern/personlig kommunikation. De detaljerade beräkningarna för kriterierna kan observeras i bilaga 8.1.1-8.1.5. För att se sammanställningen av båda systemen utifrån kriterierna se bilaga 8.3.1-8.3.3.

Då båda systemen är olika i storlek är även energianvändning olika för de. Utifrån de beräkningar som genomfördes kan det observeras i tabell 13 att system 1 har en energianvändning som är högre per hektar jämfört med system 2. Anledningen till att system 1 har sådan hög energianvändning är att för att kunna säkerställa att system 1 kan tillgodose pumpens energianvändning och därav behöver solpanelerna producera mer energi då system 1 enbart har solpanelerna som energikälla. För system 2 kommer el från elnätet att användas, vilket då betyder att systemet inte är beroende av antal soltimmar. Se bilaga 8.1.1 för mer information kring hur beräkningarna genomfördes, samt bilaga 8.3.1 och 8.3.2 för sammanställning av energianvändningen för båda systemen.

Tabell 13: Totala energianvändningen för de olika bevattningssystemen

Energianvändning		
System 1		
Mängd	Enhet	Referens
7	[kW]	Egna beräkningar
Mängd	Enhet	Referens
1,2	[kW/ha]	Egna beräkningar
System 2		
Mängd	Enhet	Referens
7	[kW]	Egna beräkningar
Mängd	Enhet	Referens
0,23	[kW/ha]	Egna beräkningar

Kriteriet klimatpåverkan utgicks bara ifrån materialproduktion för system 1, specifikt produktionen av solpaneler, medans för system 2 utgicks datan bara ifrån energianvändningen (se sektion 4.1). Anledningen till varför dessa avgränsningar antogs beror på att det inte finns några markanta skillnader mellan båda systemen utifrån material val.

Utifrån de beräkningar som genomfördes för kriteriet (se bilaga 8.1.2) kunde det observeras att system 2 har en klimatpåverkan som är cirka 10 gånger högre per hektar jämfört med system 1. Detta på grund av att produktion av solpanelerna för system 1 sker en gång, medan system 2 använder energi under hela bevattningsperioden vilket enligt 8.3.1 och 8.3.2 är runt 1 320 timmar. Resultaten från beräkningarna kan observeras i tabell 14.

Tabell 14: Klimatpåverkan för de olika bevattningssystemen

Klimatpåverkan		
System 1		
Mängd	Enhet	Referens
10	[kg CO ₂ -ekv]	Egna beräkningar
Mängd	Enhet	Referens
1,6	[kg CO ₂ -ekv/ha]	Egna beräkningar
System 2		
Mängd	Enhet	Referens
462	[kg CO ₂ -ekv]	Egna beräkningar
Mängd	Enhet	Referens
15,4	[kg CO ₂ -ekv/ha]	Egna beräkningar

Resultatet kring vattenanvändningen för de båda systemen kan observeras i tabell 15. Utifrån

tabellen kan det observeras hur mycket vatten system 1 och 2 använder totalt och per hektar. Det antogs att båda har samma vattenanvändning per hektar då båda använder sig av rampbevattning och behovet är densamma. Dock har system 2 en högre mängd total vattenanvändning jämfört med system 1 vilket beror på att system 2 har en större areal. Sedan är det viktigt att komma ihåg att system 1 kan anpassa sin bevattning utifrån IoT konceptet, vilket system 2 inte kan göra.

System 2 kan däremot inte anpassa sig och kommer ha ett kontinuerligt och konsistent vatten flöde och därmed utnyttja mer vatten än vad som behövs. Beräkningarna för kriteriet kan observeras i bilaga 8.1.3 och sammanställningen kan observeras i 8.3.1 och 8.3.2.

Tabell 15: Vattenanvändning för de olika bevattningssystemen

Vattenanvändning		
System 1		
Mängd	Enhet	Referens
21 420	[m ³]	Egna beräkningar
Mängd	Enhet	Referens
3 570	[m ³ /ha]	Egna beräkningar
System 2		
Mängd	Enhet	Referens
107 100	[m ³]	Egna beräkningar
Mängd	Enhet	Referens
3 570	[m ³ /ha]	Egna beräkningar

Utifrån beräkningarna kunde det fastställas hur mycket skörd som kan fås totalt och per hektar under ett år (se tabell 16). Utifrån det går det att observera att system 1 och 2 har lika stor skördemängd per hektar. Dock har system 2 en högre mängd total skörd jämfört med system 1 vilket beror på att system 2 har en större areal. Något som dock är bra att komma ihåg är att system 1 kan anpassa sin bevattning utifrån IoT konceptet och därmed bara bevattna när det verkligen behövs, vilket system 2 inte kan göra. De specifika beräkningarna kan observeras i bilaga 8.1.4 och sammanställningen för numeriska skördemängd kan observeras i bilaga 8.3.1 och 8.3.2.

Tabell 16: Skördemängd/ökning med de olika bevattningssystemen

Skördemängd		
System 1		
Mängd	Enhet	Referens
31 542	[kg]	Egna beräkningar
Mängd	Enhet	Referens
5 257	[m ³ /ha]	Egna beräkningar
System 2		
Mängd	Enhet	Referens
157 710	[m ³]	Egna beräkningar
Mängd	Enhet	Referens
5 257	[m ³ /ha]	Egna beräkningar

I tabell 17 kan resultatet för kostnadsberäkningarna observeras. Det som presenteras är investeringskostnaden och kapitalkostnaden för båda systemen. Dessutom adderades kostnaden för att flytta rampen med traktor för system 2. Utifrån resultaten här nedan kan det observeras att system 1 har en högre investeringskostnad jämfört med system 2 vilket därmed resulterar i att system 1 har en högre kapitalkostnad.

Detaljerna kring kostnadsberäkningarna kan observeras i bilaga 8.1.5 och sammanställningen för kriteriet kan observeras i bilaga 8.3.1 och 8.3.2. Observera dock att kostnadsberäkningar för system 1 är ungefärliga och det kan finnas markanta skillnader med verkliga kostnader. Detta då det inte finns ett sådant system, samt för att de studier som genomförst inom ämnet har varit småskaliga. Avskrivningstiden för de båda systemen varierar och i denna studie har beräkningarna utgått från livslängderna. I verkligheten är det lite annorlunda.

Tabell 17: Kostnad för de olika bevattningssystemen

Kostnader				
System 1				
Investering [kr]	Kapital [kr/år]	Kapital [kr/år/ha]	Övrigt [kr]	Referens
1 726 195	104 748	17 458	0	Egna beräkningar
System 2				
Investering [kr]	Kapital [kr/år]	Kapital [kr/år/ha]	Övrigt [kr]	Referens
1 605 543	97 771	3 259	1 800	Egna beräkningar

5.3 Intervjuer

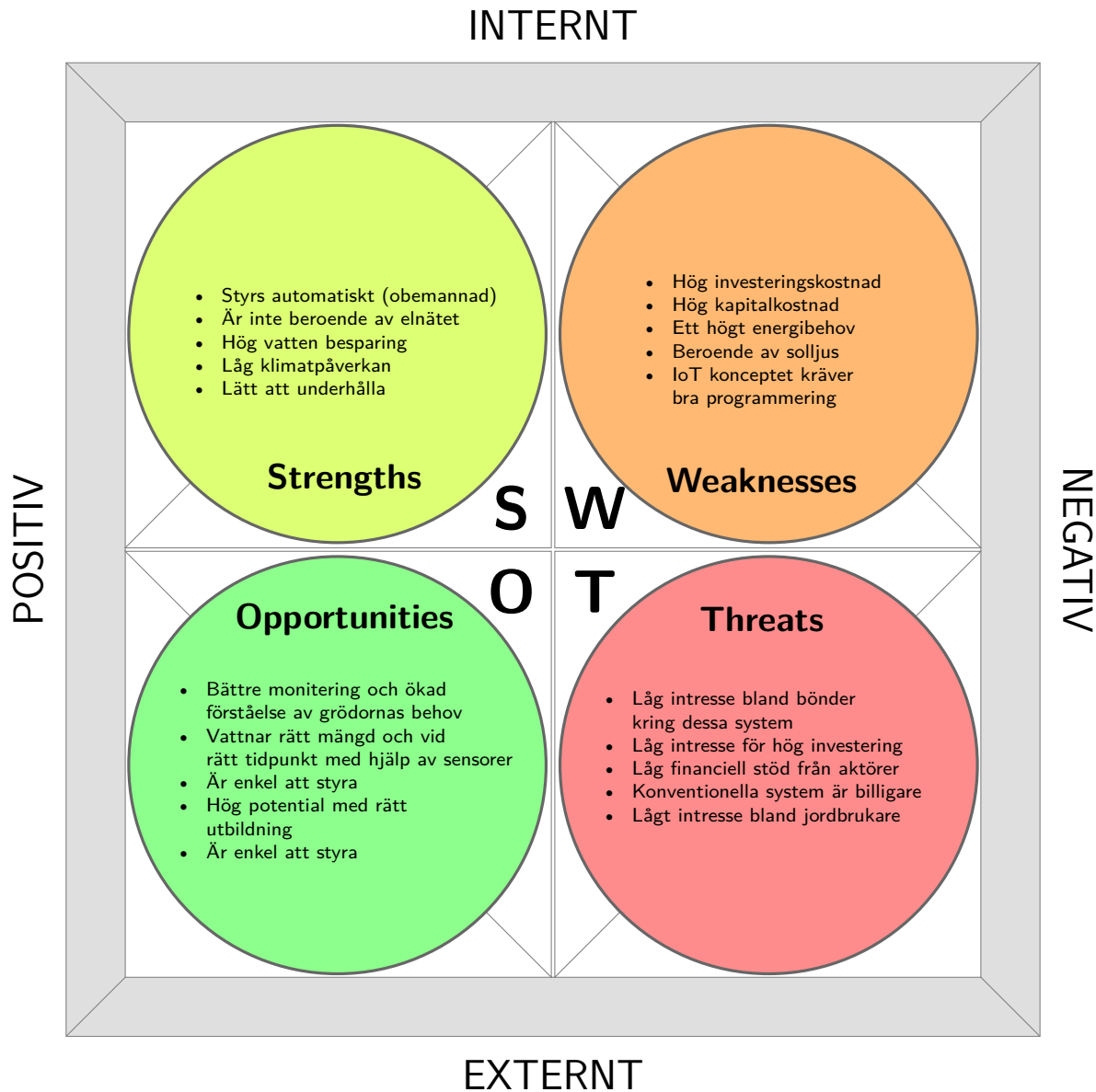
I tabell presenteras några av resultaten från intervjuerna. Som tidigare nämnt intervjuades inga jordbrukare utan data för de delarna utgicks från tidigare studier och personlig kontakt (Joel 2023, Filipsson 2023).

Tabell 18: Resultat intervjuer

Bevattningsföretag	
Fråga	Svar
Material på rör och slangar	Infrastruktur byggs med PVC annars PE 100
Diametrar på rör	110, 160 och 225 mm är vanligast
Rör kostnad	145 kr/m (PVC 160) och 150 kr/kg (PE 180)
Diametrar på slangar	75-125 mm
Ramp rörelse	Turbindrift
Storlek ramper	28-56 m
Automatiserade ramper	Pivot och lateral
Pumpar	18,5-90 kW
Kostnad pumpar	100 000-400 000 kr
Solcells företag	
Socells material	Monokristallina solceller
Storlek	1,57-2,58 m ³
Kostnad	Ju fler som beställs desto billigare
Effekter	Runt 170–230
LCA:er	Nej inga har genomförts
Verkningsgrad	Runt 17-22 %
Optimera system	Finns sådana system men dyra
Forskningsinstitut	
Funktion sensorer	Kombineras med en digital plattform
Kostnad	Varierar väldigt mycket beroende på kvalite
Lagring av data	Molnbaserad system
Styrning av sprinklers	Programmering som styr
Kostnad GPS system	Svårt att säga beror på kvalitet

5.4 SWOT-sammanställning

Här nedan presenteras resultatet från SWOT sammanställningen. Sammanställningen utgår från de resultat som fick för system 1 och kriterierna olika resultat, intervjuerna samt litteraturstudien. Svaren här nedan har presenterats utifrån de frågeställningar som valts ut (se sektion 2).



Figur 18: En SWOT sammanställning där olika fördelar, nackdelar, möjligheter och hot som finns och kan uppkomma med ett helt automatiserat bevattningssystem

6 Diskussion

6.1 Generellt

Resultaten som presenteras i studien varierar beroende på system vilket kan observeras i sektion 5. Första frågan som kommer upp är ifall båda systemen kan jämföras mot varandra eller inte. Generellt är det inte optimalt att jämföra systemen då system 2 generellt bara används i större skala och för åkrar som är nästan fem gånger större vilket användes i denna studie för att kunna få en jämförelse. Det vill säga att det inte blir helt representativt, trots detta jämfördes båda systemen mot varandra för att kunna få en överblick kring vilka skillnader det finns mellan systemen, vilket var själva syftet med studien. Jämförelsen kanske inte var det bästa beslutet, men den gav en otrolig bra insikt kring skillnaderna och hur system 1 kan potentiellt se ut.

Resultaten som togs fram i studien är som tidigare nämnt beroende på datan som samlades in. Datan för de olika kriterierna utgicks från en litteraturstudie, Ecoinvent, intervjuer och personlig/extern kommunikation. Majoriteten av den insamlade datan var icke antagna värden, medan en del värden behövdes antas då det inte hittades några exakta värden (se sektion 4.4 och tabell 3)-11). Vissa av antagande var grova medan andra var mer realistiska. Även om antagande kan ge en del felkällor, visar resultaten ändå en helhetsbild över hur systemen kan byggas upp och potentiellt kan se ut i verkligheten. Felkällorna kan ge markant påverkan på hur dessa system presenteras. Exempelvis en faktor som brukar påverka val av bevattningssystem är kostnad och därmed kan felkällor inom den faktorn ha en stor påverkan. För system 1 vilket är det automatiserade systemet krävdes fler antaganden jämfört med system 2 vilket är referenssystemet. Detta beror på att system 1 inte finns i storskala i dagsläget, vilket medförde att det blev svårt att få fram numeriska värden för exempelvis kostnader, material m.m. System 2 däremot finns i större skala och är ett av de mest etablerade systemen i Sverige, därav blev det inte lika många antaganden.

Studien får system 1 att låta rätt komplicerat, men det har genomförts flertal studier i liten skala som visar både hur ett sådant system kan se ut och att det faktiskt kan fungera (Abayomi-Alli et al. 2018; Chieochan, Saokaew & Boonchieng 2017; Sinwar et al. 2020). IoT konceptet inom jordbruk är inte etablerad inom det svenska jordbruket, utan används främst i Nordamerika samt vissa delar av Asien som pivot system. Ett helt automatiserad rampbevattningssystem finns inte någonstans på global nivå i dagsläget vilket medförde att många av beräkningarna som genomfördes i studien var ungefärliga, men bortsett från det gav det en rätt bra överblick över hur systemet kan byggas upp på en storskala och vilka komponenter som ska vara med. Observera dock att studien inte tar hänsyn till programmeringen samt vilka sorters mjukvaror som bör användas, dock har tidigare studier genomförts där inspiration kan tas ifrån (Abayomi-Alli et al. 2018; Chieochan, Saokaew & Boonchieng 2017; Roy et al. 2021).

6.2 Dimensionering

Resultaten för de olika kriterierna varierade rätt olika för system 1 och 2. När det kommer till dimensioneringen fanns det markanta skillnader mellan systemen, då system 2 används för arealer som är 5 gånger större jämfört med system 1. Liknande studier som genomförts för system 1 i mindre skala visar på att dimensioneringen är representerbar för hur det skulle kunna se ut i både

stor skala och i verkligheten (Ghosal, Badra & Sahoo 2020; Sagala et al. 2022). En detalj som är viktig att ta hänsyn till när det kommer till system 2 är att i verkligheten skulle det vara flertal sådana system är igång samtidigt för att bevattna snabbare (Joel 2023).

6.3 Energianvändning

Energianvändningen varierade rätt markant mellan systemen. System 1 har en energianvändning som är cirka 5 gånger högre per hektar jämfört med system 2. Något som är värt att tänka på är att system 1 är 5 gånger mindre jämfört med system 2. En annan aspekt som dock också måste tas till hänsyn är att system 1 bara använder förnybar energi jämfört med system 2. Därav kan det finnas en fördel med system 1 då den även i framtiden kommer kunna använda förnybar energi och inte använda någon energi från elnätet, vilket system 2 kommer behöva. En nackdel med system 1 är dock att den väder beroende vilket system 2 inte är.

6.4 Klimatpåverkan

En annan kriterie som också varierade en del var klimatpåverkan där system 2 hade nästan 10 gånger högre klimatpåverkan jämfört med system 1. I verkligheten skulle system 1 med stor sannolikhet ha en högre klimatpåverkan då vissa material inte togs med i studien. Klimatpåverkan för exempelvis bevattningsmaskin, bevattningsramp och slangar bör vara densamma, men då system 1 har fler komponenter såsom sensorer, väderstation m.m bör den ha en högre klimatpåverkan då det behöver produceras fler komponenter. Under datainventeringen var det svårt att hitta utsläpps data för majoriteten av komponenterna, därav inkluderades det inte med i studien. Vilket betyder att i verkligheten skulle klimatpåverkan för system 1 med stor sannolikhet vara markant högre.

Klimatpåvekan kriteriet utgicks främst från energianvändningen vid solpanel produktion för system 1 och energianvändningen vid bevattning för system 2. Viktigt att notera en sak här är att studien inte undersöker hur system 1 skulle se ut ifall ett batteri skulle användas för att lagra energi från solpanelerna. De flesta liknande studier som genomförts i mindre skala använder sig av batterier då det alltid finns en risk att vädret inte är optimalt för användning av solceller (Ghosal, Badra & Sahoo 2020; Hashmi et al. 2019). Problemet som uppstår då är att energianvändningen inte kan tillgodoses för pumpen. Då måste pumpen anpassa sig utefter solpanelernas energiproduktion vilket kan medföra att utflödet till åkern blir lägre och därmed ökar bevattningstiden. Med batteri skulle detta problem inte uppstå, men då uppstår frågan kring kostnaden/investeringen. Dock har priset för batterier minskat rätt mycket under årens gång och att addera ett batteri till systemet är definitivt något som bör undersökas i framtida studier (Hemsol 2023a). En annan fråga som kan komma upp är vad som händer ifall det skulle överproduceras, i de flesta fall kan överproducerad el säljas till elnätet i Sverige, därmed skulle jordbrukaren faktiskt tjäna pengar på det (Hemsol 2023b).

6.5 Kostnad

En kriterie som var svår att analysera var kostnaden för båda systemen. Utifrån tabell 17 kan det observeras att system 1 har en högre investeringskostnad jämfört med system 2 detta beror främst på robotsystemen och solpanelerna. När det kommer till bevattningsmaskinen och rampen är det inte markanta variationer mellan systemen, utan det är främst solpanelssystemet.

Utifrån litteraturstudien kunde det observeras att jordbrukare inte är villiga att investera i för höga kostnader, dessutom är de inte heller väldigt övertygade kring IoT koncept baserade bevattningssystem. En studie som genomfördes av Sinwar et al. (2020) visar på att anledningen till varför jordbrukare inte är övertygade kring IoT koncept baserade bevattningssystem begrundar sig på bristen på kunskap kring dessa system och att för att öka etableringen kring IoT koncept baserade bevattningssystem måste olika aktörer såsom banker, politiker m.m bli mer involverade (Khan, Sarkar & Islam 2013; Sinwar et al. 2020). Dock är studien inte genomförd i Sverige. Efter personlig kommunikation med Abraham Joel från SLU som har intervjuat många svenska jordbrukare framgicks det att pivot/lateral system har testats i Sverige men att då dessa system inte är rätt anpassade för det svenska jordbruket tappade många jordbrukare intresset (Joel 2023). När det kommer till den höga investeringskostnaden för system 1 visar Ghosal, Badra & Sahoo (2020), Hossain et al. (2015) och Kishore, Shah & Tewari (2014) att jordbrukare kan redan ha betalat tillbaka all kostnad efter 2-4 år efter investeringen, det vill säga att jordbrukare faktiskt kan få en positiv ekonomiskt effekt redan efter 2-4 år, detta är något är till fördel för system 1.

Dessutom visar studierna även att IoT koncept baserade system är lätta att ta hand om, vilket minskar kostnaden för underhåll. Dock en detalj som är bra att ta hänsyn till är att underhållet för system 1 kommer vara högre jämfört med system 2 då system 1 har fler komponenter. En liten detalj som denna studie inte undersökte var kostnadsvinsten med system 1. Som tidigare nämnt används inget el från elnätet, inga kostnader för att flytta på rampen och bevattningsmaskinen och därmed spara pengar på bensin/diesel, överskottselen kan säljas och jordbrukaren kan även tjäna pengar från den delen. Andra faktorer som exempelvis inte heller togs med är att de mobila solcellerna kan användas hemma och därmed minska de privata elkostnaderna. En relativ stor solcellsanläggning kan ge en inkomst på cirka 11 000 kr/år (Hemsol 2023c). Dessa är bara några av de ekonomiska vinsterna med system 1, för djupare förståelse behöver en mer ingående studie genomföras. En annan detalj som inte heller togs med i studien är kostnaden för damm som kan vara markant högre jämfört med själva bevattningssystemen (Joel 2023). I detta fall har system 2 en högre total mängd vattenanvändning och kommer därmed behöva en större damm. Skulle då en jordbrukare vilja investera i en damm skulle investeringskostnaden för system 2 bli markant högre jämfört med system 1 (Tamburino, Di Baldassarre & Vico 2020; Vico, Tamburino & Rigby 2020).

6.6 Skördemängd

En viktig detalj som studien undersökte var skördemängden för båda systemen. I denna studie visas hur stora skördarna kan bli om bevattning genomförs och i detta fall för system 1 och 2. En studie som genomförts av Grusson et al. (2021) visar på att med rätt teknik och rätt givor kan skörden öka med cirka 30-70%. Detta utifrån ett svenskt perspektiv. Dock kan det vid många tillfällen vara svårt genomföra bevattning vid precis den rätta tiden och bevattna precis den rätta mängden då det är en mänsklig faktor som är involverad. Det som potentiellt kan urskilja system 1 från system 2 är just att den mänskliga faktorn inte blir en lika stor risk då systemet har sensorer, väderstation m.m som kan tala om för jordbrukaren när det är dags att bevattna och hur mycket giva som ska användas. En annan sak som måste tas hänsyn är att system 1 bara kommer bevattna med den specifika mängden vatten som krävs för att optimera grödans tillväxt och därmed öka skörden, vilket inte kan genomföras med system 2 där exempelvis markfuktighet m.m inte kan mätas. En studie som genomfördes av Touil et al. (2022) visar på att om en gröda inte bevattnas på rätt sätt och vid rätt tidpunkt kan skördemängden till och med minska med

cirka 25% av den normala skördemängden. Det vill säga att det kan finnas en risk för minskad skörd.

6.7 Vattenanvändning

När det kommer till vattenanvändning har system 2 en markant högre total mängd vattenanvändning jämfört med system 1, vilket i verkligheten också skulle medföra en högre investering för damm som nämndes tidigare. Båda systemen har dock samma vattenanvändning/hektar vilket är det väsentliga. Dock kan kostnaden medföra att många jordbrukare exempelvis inte vill investera i dammar. Dock har båda systemen en högre vattenbesparande förmåga jämfört med andra system som exempelvis använder storspridare m.m (Joel 2023). Det antogs att båda systemen har samma vattenbesparande förmåga men något som bör tas till hänsyn är att system 1 potentiellt inte bevattnar mer än vad som behövs. Anledningen till detta beror på IoT konceptet, vilket kan med hjälp av sensor data få information kring markfuktighet, väderdata m.m. Detta medför om det exempelvis skulle regna någon dag efter den genomfört en bevattning, skulle systemet anpassa sin bevattning och inte bevattna för mycket. Detta kan exempelvis inte genomföras med system 2 då det är svårt att avgöra vädret utan att få in realdata.

6.8 SWOT

Utvärderas båda systemen utifrån SWOT-sammanställningen (se figur 18) kan det observeras att system 1 har lika många svagheter som styrkor, dock har systemet fler möjligheter jämfört med hot. Svagheter utgår främst från kostnadsberäkningarna, vilka kan ha en del felkällor. Analysen skulle kunnat se annorlunda ut ifall experimentella undersökningar genomförts i större skala.

De flesta liknande studier som genomförts inom IoT koncept baserade bevattningssystem har alla vissa delar gemensamt, dels fås en ökad skörd, ökad vattenbesparing, mindre manuellt arbete och lätt att underhålla. Dock var alla studier i en liten skala samt inte genomförda i Sverige, vilket betyder att det kan finnas en risk att det inte är helt representerbart. Dock ger denna studie en rätt bra överblick över hur systemet kan byggas upp, samt nämner både de positiva och negativa delarna som kan förekomma med ett IoT koncept baserad bevattningssystem.

7 Slutsats

Utifrån resultaten kan slutsatsen dras att ett potentiellt automatiserad rampbevattningssystem har markanta skillnader jämfört mot en konventionell rampbevattningssystem. Ett exempel är bevattningstiden som är tre dygn för system 1 och fyra dygn för system 2. För kriterierna energianvändning och kostnad presterar system 2 någorlunda bättre jämfört med system 1. För kriterierna klimatpåverkan presterar dock system 1 mycket bättre jämfört med system 2. Andra slutsatsen som kan dras är att system 1 med stor sannolikhet är ett potentiellt system som går att implementera i stor skala. Dock ger den här studien bara en grundläggande överblick och data över hur system 1 kan potentiellt byggas upp, samt vilka för- och nackdelar som finns med systemet. Mer detaljerade beräkningar och djupgående undersökningar är väsentliga för att kunna avgöra vinsten med system 1. Jämförelsen mellan systemen är dock inte den mest optimala vilket

betyder att det inte går att avgöra vilket system som är bättre utifrån resultaten, utan resultatet bör endast användas som en vägledning kring hur system 1 kan byggas upp och potentiellt se ut.

En sista slutsats som måste dras är att intresset kring IoT koncept baserade bevattningssystem är låg bland jordbrukare på grund av hög investeringskostnad samt att de befintliga IoT koncept baserade system (pivot och lateral system) inte är anpassade för svenska förhållanden. För att ett potentiellt system ska kunna etableras i framtiden krävs det att fler aktörer blir involverade och att kunskapen ökar kring dessa bevattningssystem.

7.1 Framtida studier

En kriterie som borde tagits med i MKAn är Robusthet". Kriteriet är svår att analysera och kvantifiera, därav togs den inte med. Andra faktorer som också borde undersökas i framtida studier är att kolla på klimatpåverkan från andra komponenter för system 1 som inte togs med i den här studien såsom sensorer, väderstation m.m. Viktig punkt som också bör genomföras i framtida studier är att faktiskt implementera ett IoT koncept baserad bevattningssystem i storskala med programmering och ett fungerande system med IoT konceptet då det aldrig genomförts tidigare. Därefter skulle det vara bra att undersöka hur systemet skulle se ut ifall ett batteri skulle adderas, exempelvis hur skulle kostnaden och klimatpåverkan se ut då. En sista punkt som också bör tas med i framtida studier är hur intresset och kunskapen kring IoT koncept baserade bevattningssystem kan öka både bland olika aktörer såsom politiker, myndigheter samt jordbrukare.

Det är en del aspekter som bör undersökas i framtida studier, vilka också nämns i stycket ovan. Här nedan sammanställs de aspekterna:

- *Robusthet*
- *Klimatpåverkan för alla komponenter*
- *Implementera ett system med IoT konceptet i stor skala*
- *Hur intresset och kunskapen kan öka kring IoT koncept baserade bevattningssystem*
- *Addera ett batteri och undersöka systemet*
- *Jämförelsen mellan systemen borde genomföras med mer realistiska variabler*
- *Ekonomisk vinst med system 1*

Referenser

- Abayomi-Alli, O., Odusami, M., Ojinaka, D., Shobayo, O., Misra, S., Damasevicius, R. & Maskeliunas, R. (2018). Smart-Solar Irrigation System (SMIS) for Sustainable Agriculture. *Communications in Computer and Information Science*, vol. 942, ss. 198–212. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/328495648_Smart-Solar_Irrigation_System_SMIS_for_Sustainable_Agriculture.
- Abdelkerim, A., Sami Eusuf, M., Salami, M., Aibinu, A. & Eusuf, M. A. (dec. 2013). Development of Solar Powered Irrigation System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 53(1). Tillgänglig: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/53/1/012005/meta>.
- Al-Ali, A. R., Rehman, S., Al-Agili, S., Al-Omari, M. H. & Al-Fayezi, M. (maj 2001). Usage of photovoltaics in an automated irrigation system. *Renewable Energy*, vol. 23(1), ss. 17–26. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148100001105>.
- Amazon (2023). *ECOWITT Trådlös väderstation, stor display, med wifi, utomhusväderstation med ultraljudsanemometer, sensorpaket och självtömmande regnmätningssensor för hem och gård, 868 MHz : Amazon.se: Trädgård*. Tillgänglig: https://www.amazon.se/ECOWITT-v%7B%5C%22%7Ba%7D%7Dderstationer-v%7B%5C%22%7Ba%7D%7Dderstation-ultraljudsanemometersensorpaket-regnm%7B%5C%22%7Ba%7D%7Dtarsensor/dp/B08342SLWH/ref=asc_df_B08342SLWH/?tag=shpngadsglede-21&linkCode=df0&hvadid=476450961507&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=24625454183810022&hvpone=&hvpstwo=&h [2023-07-14].
- Ananthakumar, S., Kumar, J. R. & Babu, S. M. (2019). Third-Generation Solar Cells: Concept, Materials and Performance - An Overview. *Emerging Nanostructured Materials for Energy and Environmental Science, Environmental Chemistry for a Sustainable World 23*, ss. 305–339. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/330940507_Third-Generation_Solar_Cells_Concept_Materials_and_Performance_-_An_Overview.
- Aurora (2023). *Comprehensive Guide to Solar Panel Types | Aurora Solar*. Tillgänglig: <https://aurorasolar.com/blog/solar-panel-types-guide/> [2023-03-01].
- Axelsson, G. (2015). "Bevattningseffektivitet i Plantskoleproduktion | Irrigation Efficiency in Nursery Production. Kandidatsarbete/Självständigt arbete, Trädgårdsingenjör:odling. Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap". Diss. Sveriges lantbruksuniversitet. Tillgänglig: https://stud.epsilon.slu.se/7587/1/axelsson_g_150128.pdf.
- Ayodele, T. R., Ogunjuyigbe, A. S. & Amusan, T. O. (aug. 2018). Techno-economic analysis of utilizing wind energy for water pumping in some selected communities of Oyo State, Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 91, ss. 335–343. Tillgänglig: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118301011?casa_token=e6ADkRRleLcAAAAA:qc-osnBFINX9fEmcY7E_YVfaFymxmzrieMG66M84Sf0fAhUQV-WP3iQ85ckSZaFNnJhVwpXQ_w.
- Beard, M. C., Luther, J. M. & Nozik, A. J. (jan. 2014). The promise and challenge of nanostructured solar cells. *Nature Nanotechnology*, vol. 9(12), ss. 951–954. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/269178530_The_promise_and_challenge_of_nanostructured_solar_cells.
- Bevattningsteknik (2023). *Katalog*. Tillgänglig: <https://www.bevattningsteknik.se/sida/23/> [2023-07-12].
- Boverket (2018). *Kapitalkostnader - Ekonomiska planer - Boverket*. Tillgänglig: <https://www.boverket.se/sv/ekonomiska-planer/for-yrkesverksamma/ekonomiska-planer/ekonomisk-plan-och-kostnadsalkyl4/kapitalkostnader/> [2021-12-21].
- Chiochan, O., Saokaew, A. & Boonchieng, E. (dec. 2017). Internet of things (IOT) for smart solar energy: A case study of the smart farm at Maejo University. *2017 International Conference on Control, Automation and Information Sciences, ICCAIS 2017*, vol. 2017-Janua, ss. 262–267. Tillgänglig: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8217588>.

- Closas, A. & Rap, E. (maj 2017). Solar-based groundwater pumping for irrigation: Sustainability, policies, and limitations. *Energy Policy*, vol. 104, ss. 33–37. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421517300459>.
- Department of Primary Industries and Regional Development (2019). *Water salinity and plant irrigation / Agriculture and Food*. Tillgänglig: <https://www.agric.wa.gov.au/water-management/water-salinity-and-plant-irrigation> [2023-02-09].
- Ecoinvent (u.å.). *Ecoinvent – Database*. Tillgänglig: <https://ecoinvent.org/> [2023-07-12].
- Energimarknadsinspektionen (2023). *Anslutning till elnätet - Energimarknadsinspektionen*. Tillgänglig: <https://ei.se/konsument/el/elnavgiften-och-anslutning-till-elnatet/anslutning-till-elnatet> [2023-07-15].
- Englund, T. (2019). *Extrem torka på Öland och Gotland. Land Lantbruk Skogsbruk , 05 Sep*. Tillgänglig: <https://www.landlantbruk.se/extrem-torka-pa-oland-och-gotland> [2023-02-02].
- Eremo, M. (2022). *Höga kostnader för lantbrukare drabbar konsumenten. Svenskt Näringsliv, 16 Feb*. Tillgänglig: https://www.svensktnaringsliv.se/regioner/gavleborg/hoga-kostnader-for-lantbrukare-drabbar-konsumenten_1181472.html [2023-02-07].
- Ghosal, M., Badra, S. & Sahoo, N. (nov. 2020). Studies on solar water pumping based micro-irrigation for sustainable vegetable cultivation. *International Journal of Chemical Studies*, vol. 8(6), ss. 1202–1208. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/348181675_Studies_on_solar_water_pumping_based_micro-irrigation_for_sustainable_vegetable_cultivation.
- Grusson, Y., Wesström, I., Svedberg, E. & Joel, A. (april 2021). Influence of climate change on water partitioning in agricultural watersheds: Examples from Sweden. *Agricultural Water Management*, vol. 249, ss. 106766. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377421000317>.
- Günes, S. & Sariciftci, N. S. (febr. 2008). Hybrid solar cells. *Inorganica Chimica Acta*, vol. 361(3), ss. 581–588. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020169307004343>.
- Harishankar, S., Sathish Kumar, R. & Vignesh, U. (2014). Solar Powered Smart Irrigation System, vol. 4(4), ss. 341–346. Tillgänglig: <http://www.ripublication.com/aeer.htm>.
- Hashmi, G., Hasan, M. S., Efat, M. M. H. & Rahman, M. H. (jan. 2019). Portable solar panel efficiency measurement system. *SN Applied Sciences*, vol. 2(1). Tillgänglig: <https://www.semanticscholar.org/paper/Portable-solar-panel-efficiency-measurement-system-Hashmi-Hasan/6440b16f9aadfcef43da8ab1c95bd035196e2add>.
- Hemming, S. (2023). *Verkningsgrad för Solceller 2023: Allt om Effekt för Solpaneler!*. *Hemsol, 2 Jun*. Tillgänglig: <https://hemsol.se/solceller/verkningsgrad-effekt/> [2023-07-12].
- Hemsol (2023a). *Pris på Solcells batteri: Vad Kostar Batteri till Solceller (Jul, 2023)*. Tillgänglig: <https://hemsol.se/solceller/solcells-batteri/pris/> [2023-07-27].
- Hemsol (2023b). *Sälja Solel: Regler & Krav för att Sälja Överskottsel från Solceller*. Tillgänglig: <https://hemsol.se/solceller/salja-solel/> [2023-10-21].
- Hemsol (2023c). *Ekonomi för Solceller: Så Lönsamt är det med Solpaneler 2023*. Tillgänglig: <https://hemsol.se/solceller/lonsamt/> [2023-10-21].
- Hjerne, C.-E., Dahlqvist, P., Thorsbrink, M. & Maxe, L. (2022). *Beskrivning av grundvattnet på Gotland*. Tekn. rapport SGU-rapport 2022:14. SGU-Sveriges geologiska undersökning. Tillgänglig: <https://resource.sgu.se/dokument/publikation/sgurapport/sgurapport202214rapport/s2214-rapport.pdf>.
- Hossain, M. A., Hassan, M. S., Mottalib, M. A. & Hossain, M. (juni 2015). Feasibility of solar pump for sustainable irrigation in Bangladesh. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, vol. 6(2), ss. 147–155. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/276321480_Feasibility_of_solar_pump_for_sustainable_irrigation_in_Bangladesh.
- Håkansson, A. (2011). "Enskilda avlopp i väntan på kommunal anslutning On-site sewage systems while waiting for municipal wastewater, Examensarbete i W, Miljö- och Vattenteknik. Geovetenskapliga sektionen, Institutionen för geovetenskaper". Diss. Uppsala universitet. Tillgänglig: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:445463/FULLTEXT01.pdf>.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014 Synthesis Report*. Tekn. rapport 2014. IPCC. Tillgänglig: <http://www.ipcc.ch..>
- Islam Sakib, M. I., Ahmed, E., Khan, M. H., Uddin, M. R. & Salim, K. M. (2020). *A Compendious Performance Analysis of a Movable Solar Powered Boat for Enhanced Efficient Small-Scale Irrigation System by Using SPWM Controlled Single-Phase Inverter*. 2020 IEEE Region 10 Symposium, TENSYP 2020, Dhaka: Institute of Electrical och Electronics Engineers Inc., s. 320–323. Tillgänglig: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9230765/authors#authors>.

- IVL Svenska Miljöinstitutet AB (2022). *Storsudret - IVL.se*. Tillgänglig: <https://www.ivl.se/om-oss/forskningsstationer-och-testbaddar/storsudret.html> [2023-02-09].
- Joel, A., Nilsdotter-Linde, N. & Wesström, I. (2022). *Försöksrapport Sverigeförsöken 2022*. Tekn. rapport 2022. Hushållningssällskapet. Tillgänglig: <https://sverigeforsoken.se/trialbook>.
- Jordbruksverket (2018). *Jordbrukets behov av vattenförsörjning - Jordbruksverket*. Tekn. rapport 2018:18. Jordbruksverket. Tillgänglig: https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/ra18_18.html.
- Jordbruksverket (2022a). *Satsa på förnybar energi*. Tillgänglig: <https://jordbruksverket.se/utvecklaforetagande-pa-landsbygden/fornybar-energi/satsa-pa-fornybar-energi> [2023-02-07].
- Jordbruksverket (2022b). *Normskördar 2022*. Tekn. rapport JO0602. Jordbruksverket. Tillgänglig: <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2022-06-10-normskordar-2022#h-Tabeller>.
- Khan, S. I., Sarkar, M. M. R. & Islam, M. Q. (febr. 2013). DESIGN AND ANALYSIS OF A LOW COST SOLAR WATER PUMP FOR IRRIGATION IN BANGLADESH. *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 43(2), ss. 98–102. Tillgänglig: <https://www.banglajol.info/index.php/JME/article/view/17833>.
- Kishore, A., Shah, T. & Tewari, N. P. (mars 2014). Solar Irrigation Pumps: Farmers' Experience and State Policy in Rajasthan on JSTOR. *Economic and Political Weekly*, vol. 49(10), ss. 55–62. Tillgänglig: <https://www.jstor.org/stable/24479230>.
- Koerhuis, R. (2022). *What autonomous tractors are for sale in 2022? Tell us! Future Farming, 28 Jan*. Tillgänglig: <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/autonomous-semi-autosteering-systems/what-autonomous-tractors-are-for-sale-in-2022-tell-us/> [2023-07-12].
- Lagnelöv, O., Dhillon, S., Larsson, G., Nilsson, D., Larsolle, A. & Hansson, P. A. (april 2021). Cost analysis of autonomous battery electric field tractors in agriculture. *Biosystems Engineering*, vol. 204, ss. 358–376. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511021000416>.
- Lantbruk (2021). *Akut läge för gotländska bönder – över 200 miljoner i ökade kostnader, [Radio program], Anna Bachmann, P4-Gotland, Sveriges Radio, 16 Feb*. Tillgänglig: <https://sverigesradio.se/artikel/akut-lage-for-gotlandska-bonder-over-200-miljoner-i-okade-kostnader> [2023-02-07].
- LED Mega store (u.å.). *410W Helsvart solpanel mono - Svart-i-svart helsvart, half-cut panel*. Tillgänglig: https://ledmegastore.se/losa-solcellspaneler/8640-410w-helsvart-solpanel-mono-svart-i-svart-helsvart-half-cut-panel-v-6-st.html?gclid=CjwKCAjwwb6lBhBJEiwAbuVUSp4qRpixi7rW2eKreufB4EN0oeKa2MR4z10tDzBjXktAfchvKJWkXhoCiYwQAvD_BwE [2023-07-13].
- Lundahl, M. (2022). "Droppbevattning : Effekter av bevattningsintensitet och lokalisering på vattnets fördelning i marken. Examensarbete i W, Miljö- och Vattenteknik. UU, Teknisk-naturvetenskapliga vetenskapsområdet, Geovetenskapliga sektionen, Institutionen för geovetenskaper. SLU, Institutionen för mark och miljö". Diss. Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Tillgänglig: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%5C%3A1681731%5C&dswid=-6051> [2023-02-24].
- Länsstyrelsen Gotlands Län (2022). *Miljö kvalitetsmålen Gotland 2022*. Tekn. rapport Rapporter om natur och miljö 2022:15. Länsstyrelsen Gotlands Län. Tillgänglig: <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.230c6413184b3f2010d3f2f/1669631182647/Sammanslagen%20rapport%20med%20framsida%202,5.pdf>.
- Länsstyrelsen i Gotlands län (2018). *Mycket stora konsekvenser av torkan för gotländsk livsmedelsproduktion*. Tekn. rapport RS 2018/914 100-3089-18. Länsstyrelsen i Gotlands län. Tillgänglig: <https://www.gotland.se/100670>.
- Miljö- och hälsoskyddsnämnden Region Gotland (2015). *100-undersökningen / Dricksvattenkvaliteten i enskilda vattentäkter 2015*. Tekn. rapport Undersökning 7. Miljö- och hälsoskyddsnämnden Region Gotland. Tillgänglig: <https://www.gotland.se/88755>.
- Mohammad Bagher, A., Mahmoud Abadi Vahid, M. & Mohsen, M. (2015). Types of Solar Cells and Application. *American Journal of Optics and Photonics*, vol. 3(5), ss. 94–113. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/281148723_Types_of_Solar_Cells_and_Application.
- Moore, C. (2018). *I want a weather station: How much will it cost? BBC Weather Watchers, 15 Jan*. Tillgänglig: <https://www.bbc.co.uk/weatherwatchers/article/35802983/i-want-a-weather-station-how-much-will-it-cost/> [2023-07-12].
- myndigheten, U. (u.å.). *Olika typer av investeringskalkyler och LCC | Upphandlingsmyndigheten*. Tillgänglig: <https://www.upphandlingsmyndigheten.se/om-hallbar-upphandling/ekonomiskt->

- hallbar - upphandling / lcc - for - langsiktigt - hallbara - inkop / olika - typer - av - investeringskalkyler/ [2021-12-23].
- Persson, G., Asp, M., Berggreen-Clausen, S., Berglöv, G., Björck, E., Mårtensson, J. A., Nylén, L., Ohlsson, A., Persson, H. & Sjökvist, E. (2015). *Framtidsklimat i Gotlands län - enligt RCP-scenarier* / SMHI. Tekn. rapport KLIMATOLOGI Nr 31. SMHI-Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/publikationer/publikationer/framtidsklimat-i-gotlands-lan-enligt-rcp-scenarier-1.96171>.
- Rahman, S. M., Mori, A. & Rahman, S. M. (jan. 2022). How does climate adaptation co-benefits help scale-up solar-powered irrigation? A case of the Barind Tract, Bangladesh. *Renewable Energy*, vol. 182, ss. 1039–1048. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148121015810>.
- Ramli, R. M. & Jabbar, W. A. (jan. 2022). Design and implementation of solar-powered with IoT-Enabled portable irrigation system. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, vol. 2, ss. 212–225. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667345222000281>.
- Rao, A. & Friend, R. H. (okt. 2017). Harnessing singlet exciton fission to break the Shockley-Queisser limit. *Nature Reviews Materials*, vol. 2. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/320198548_Harnessing_singlet_exciton_fission_to_break_the_Shockley-Queisser_limit.
- Region Gotland (2022). *Bevattningsförbud*. Tillgänglig: <https://www.gotland.se/bevattningsforbud> [2023-02-03].
- Roblin, S. (sept. 2016). Solar-powered irrigation: A solution to water management in agriculture? *Renewable Energy Focus*, vol. 17(5), ss. 205–206. Tillgänglig: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755008416301065?fr=RR-1%5C&ref=cra_js_challenge.
- Rosell, E. (2016). *Torka på Öland och Gotland kommer att bli vanligare när klimatet förändras - Supermiljöbloggen, 24 Jul*. Tillgänglig: <https://supermiljobloggen.se/nyheter/torka-pa-oland-och-gotland-kommer-att-bli-vanligare-nar-klimatet-forandras/> [2023-02-02].
- Roy, S. K., Misra, S., Raghuwanshi, N. S. & Das, S. K. (mars 2021). AgriSens: IoT-Based Dynamic Irrigation Scheduling System for Water Management of Irrigated Crops. *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8(6), ss. 5023–5030. Tillgänglig: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9249427>.
- Sagala, A., Siagian, P., Tambunan, I. & Simanjuntak, T. (2022). Implementation of Portable Off-Grid Solar Water Pump for Irrigation Systems. *Jurnal Mantik*, vol. 5(4), ss. 2542–2548. Tillgänglig: <https://www.iocscience.org/ejournal/index.php/mantik/article/view/1811>.
- Sharma, V. (2019). *Soil moisture sensors for irrigation scheduling* / UMN Extension. Tekn. rapport. University of Minnesota Extension. Tillgänglig: <https://extension.umn.edu/irrigation/soil-moisture-sensors-irrigation-scheduling#pros%5C%2C-cons-and-costs-of-volumetric-water-content-sensors-1751860>.
- Sinwar, D., Dhaka, V. S., Sharma, M. K. & Rani, G. (2020). *AI-Based Yield Prediction and Smart Irrigation*. 2. utg. Internet of Things och Analytics for Agriculture, s. 155–180. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/336819163_AI-Based_Yield_Prediction_and_Smart_Irrigation.
- Skatteverket (u.å.). *Momssatser och undantag från moms* / Skatteverket. Tillgänglig: <https://skatteverket.se/foretagochorganisationer/moms/saljavarorochtjanster/momssatspavarorochtjanster.4.58d555751259e4d66168000409.html> [2022-10-18].
- Smart Power India (2021). *Agro-centric mini-grids and solar trolleys could transform Indian farming - Smart Power India*. Tillgänglig: <https://smartpowerindia.org/agro-centric-mini-grids-and-solar-trolleys-could-transform-indian-farming/> [2023-03-15].
- SMHI (2021). *Informationskampanj förebygger vattenbrist på Gotland*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/klimat/klimatanpassa-samhallet/exempel-pa-klimatanpassning/informationskampanj-forebygger-vattenbrist-pa-gotland-1.170900> [2023-02-03].
- SMHI (2023). *Gotlands klimat* / SMHI. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatet-i-sveriges-landskap/gotlands-klimat-1.4887> [2023-07-28].
- SolcellsOfferter (u.å.). *Solceller: Komplet guide inför ditt köp (2023)* / SolcellsOfferter. Tillgänglig: <https://www.solcellsofferter.se/solceller-guide/> [2023-07-12].
- SolProffset (2023). *Phono Solar - Mono 460 w Half Cut PERC solpanel - Solproffset*. Tillgänglig: https://www.solproffset.se/products/phono-solar-mono-460-w-half-cut-perc-solpanel?variant=46685790273882¤cy=SEK&utm_medium=product_sync&utm_source=google&utm_content=sag_organic&utm_campaign=sag_organic&utm_campaign=gs-2021-04-13&utm_source=google&utm_medium=

- smart_campaign&gclid=CjwKCAjwwb6lBhBJEiwAbuVUSv7Rb6CrmcYCF-bdPUASlJRihVweyVzZQS_Pz5xw5s58PyQPDmSXvBoCNwoQAvD_BwE [2023-07-13].
- Tamburino, L., Di Baldassarre, G. & Vico, G. (aug. 2020). Water management for irrigation, crop yield and social attitudes: a socio-agricultural agent-based model to explore a collective action problem. *Hydrological Sciences Journal*, vol. 65(11), ss. 1815–1829. Tillgänglig: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626667.2020.1769103>.
- Thorsbrink, M., Dahlqvist, P., Holgersson, B., Nisell, J., Maxe, L. & Gustafsson, M. (2017). *Våtmarker och grundvattenbildning – om möjligheten till ökad kapacitet vid grundvattentäkter på Gotland*. Tekn. rapport SGU-rapport 2017:01. SGU-Sveriges geologiska undersökning. Tillgänglig: <http://resource.sgu.se/produkter/sgurapp/s1701-rapport.pdf>.
- Tidningen Husdjur (2019). *Bevattningsmaskiner för en mångfald av marker - Specialutgåvor. Tidningen Husdjur, 24 Juli*. Tillgänglig: <https://etidning.husdjur.se/p/specialutgavor/vallspecial/a/bevattningsmaskiner-for-en-mangfald-av-marker/1689/232687/9759157> [2023-02-21].
- Touil, S., Richa, A., Fizir, M., Argente García, J. E. & Skarmeta Gómez, A. F. (dec. 2022). *Irrigation and Drainage*, vol. 71(5), ss. 1396–1416. Tillgänglig: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ird.2735>.
- Tryggghandel (2023). *Solpanel Longi Mono 405W helsvart 1722x1134x30 mm (Hem & Trädg.* Tillgänglig: https://www.tryggghandel.se/sv/artiklar/solpanel-longi-mono-405w-helsvart-1722x1134x30-mm.html?gclid=CjwKCAjwwb6lBhBJEiwAbuVUSk-TA6wYlBhy3DeXlpSxzfqJgDHN7r4qWykWP1TXn-p22aTgQVLS3RoC0x4QAvD_BwE [2023-07-15].
- USGS (2018). *Irrigation Methods: A Quick Look | U.S. Geological Survey*. Tillgänglig: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/irrigation-methods-quick-look> [2023-02-21].
- Valmont Industries (2023). *Smart irrigation is smart farming/Remotely Monitor & Control Pumps and Pivots*. Tillgänglig: <https://tinyurl.com/s3n74ek4> [2023-03-14].
- Wang, A. & Xuan, Y. (febr. 2018). A detailed study on loss processes in solar cells. *Energy*, vol. 144, ss. 490–500. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544217320911>.
- Vattenfall (2023). *EPD ger förutsättning för klimatneutralitet. Vattenfall, 3 Jul*. Tillgänglig: <https://energyplaza.vattenfall.se/blogg/epd-ger-forutsattning-for-klimatneutralitet#download-page> [2023-07-12].
- Vico, G., Tamburino, L. & Rigby, J. R. (maj 2020). Designing on-farm irrigation ponds for high and stable yield for different climates and risk-coping attitudes. *Journal of Hydrology*, vol. 584. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169420300949>.
- VISS (u.å.). Ekonomi (). Tillgänglig: <http://extra.lansstyrelsen.se/viss/Sv/detta-beskrivs-i-viss/atgardshantering/atgarder/Pages/ekonomi.aspx>.

Muntliga referenser

Joel, A. (2023), Forskare FLK vid Institutionen för mark och miljö; Jordbrukets vattenhushållning och vattenkvalitet, Personlig kommunikation.

Filipsson, S. (2023), Senior projektledare vid IVL Svenska Miljöinstitutet, Personlig kommunikation.

8 Bilagor

8.1 Bilaga 1

8.1.1 Dimensionerings- samt energiberäkningar

Vid dimensionerings- och energiberäkningarna användes ekvation 1-4. Först av allt valdes givan fram som skulle appliceras för varje bevattnings omgång vilket valdes till 21 mm. Därefter valdes vall behovet vilket valdes till 30 m³/ha/dygn. Sedan valdes den effektiva bevattningstiden för båda systemen. Den tiden valdes till 10 för system 1 och 17 timmar för system 2. Utifrån dessa numeriska värden och ekvation 1 kunde flödet beräknas fram. Beräkningarna gav ett värde på 19 m³/h för system 1 och 50 m³/h för system 2.

$$\text{Flöde per omgång (system 1)} = \frac{6 \cdot 30}{10} = 19 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Flöde per omgång (system 2)} = \frac{30 \cdot 30}{17} = 50 \text{ m}^3/\text{h}$$

Efter att ha räknat ut flödet behövdes genomströmningen (q) beräknas fram, vilket kunde genomföras med hjälp av ekvation 2. Efter att ha suttit in de numeriska värdena från den tidigare beräkningen (flödet) blev genomströmningen för system 1 5,28 L/s och 13,88 L/s för system 2. Därefter beräknades friktionsförlusten för var och en av ledningarna (stamledning, grenledning och ledning mellan pump och damm) fram, vilket kunde genomföras med hjälp av ekvation 3 (se nedan). Igenom att sätta in numeriska värdena från tidigare beräkningar samt tabellerna 3, 4 och 5 blev friktionsförlusten/erforderliga pumptrycket 88 mvp för system 1 och 96 mvp för system 2. Alla dessa värden kan observeras i tabell 3.

$$q \text{ (system 1)} = \frac{19 \cdot 1\,000}{60 \cdot 60} = 5,28 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$q \text{ (system 2)} = \frac{50 \cdot 1\,000}{60 \cdot 60} = 13,89 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$H_f \text{ (stamledning) (system 1)} = \frac{1.21 \cdot 10^{10} \cdot 67 \cdot \left(\frac{5,28}{147}\right)^{1.852}}{101,4^{4.87}} = 0,29 \text{ mvp}$$

$$H_f \text{ (grenledning) (system 1)} = \frac{1.21 \cdot 10^{10} \cdot 100 \cdot \left(\frac{5,28}{147}\right)^{1.852}}{101,4^{4.87}} = 0,43 \text{ mvp}$$

$$H_f \text{ (slang mellan maskin och ramp) (system 1)} = \frac{1.21 \cdot 10^{10} \cdot 300 \cdot \left(\frac{5,28}{147}\right)^{1.852}}{101,4^{4.87}} = 1,3 \text{ mvp}$$

$$H_f \text{ (slang mellan pump och damm) (system 1)} = \frac{1.21 \cdot 10^{10} \cdot 2 \cdot \left(\frac{5,28}{147}\right)^{1.852}}{101,4^{4.87}} = 0,0087 \text{ mvp}$$

$$\text{Totala } H_f/\text{erforderligt pumptryck (system 1)} = 0,29 + 0,0087 + 2 + 0 + 71,4 + 14,28 + 0,43 + 1,3 = 90$$

$$H_f \text{ (stamledning) (system 2)} = \frac{1.21 \cdot 10^{10} \cdot 67 \cdot \left(\frac{5,28}{147}\right)^{1.852}}{101,4^{4.87}} = 0,28 \text{ mvp}$$

$$H_f \text{ (grenledning) (system 2)} = \frac{1.21 \cdot 10^{10} \cdot 375 \cdot \left(\frac{5,28}{147}\right)^{1.852}}{101,4^{4.87}} = 1,57 \text{ mvp}$$

$$H_f \text{ (slang mellan maskin och ramp) (system 1)} = \frac{1.21 \cdot 10^{10} \cdot 400 \cdot \left(\frac{5,28}{147}\right)^{1.852}}{101,4^{4.87}} = 1,67 \text{ mvp}$$

$$H_f \text{ (slang mellan pump och damm) (system 2)} = \frac{1.21 \cdot 10^{10} \cdot 2 \cdot \left(\frac{5,28}{147}\right)^{1.852}}{101,4^{4.87}} = 0,0084 \text{ mvp}$$

$$\text{Totala } H_f/\text{erforderligt pumptryck (system 2)} = 0,28 + 0,0084 + 2 + 0 + 71,4 + 20,4 + 1,57 + 1,67 = 97$$

Efter att ha beräknat fram den erforderliga pumptrycket beräknades total antal timmar för att bevattna hela åkern. För att beräkna detta användes ekvation 4 och de numeriska värdena som användes var 21 mm (Giva per omgång), 10 h/dygn (Effektiv bevattningstid) och 3 mm/dygn (Vall behov) för system 1. För system 2 var de numeriska värdena 21 mm (Giva per omgång), 17 h/dygn (Effektiv bevattningstid) och 3 mm/dygn (Vall behov). Detta gav en total bevattningstid på 3 dygn för system 1 och 5 dygn för system 2.

$$\text{Total timmar bevattning (system 1)} = \frac{21 \cdot 10}{3 \cdot 24} = 3 \text{ dygn}$$

$$\text{Total timmar bevattning (system 2)} = \frac{21 \cdot 17}{3 \cdot 24} = 4 \text{ dygn}$$

Efter detta beräknades total antal omgångar som kommer behövas för att tillgodose den framtida bevattningsbehovet. Detta igenom att använda ekvation 5. Beräkningen gjordes genom att dividera 238 mm med 21. Vilket gav att det krävs 11 omgångar för både system 1 och system 2.

$$\text{Antal omgångar} = \frac{238}{21} = 11 \text{ omgångar}$$

Då den erforderliga pumptrycket beräknades till 88,4 mvp vilket är mindre än 100 antogs en pumpeffektivitet på 85% (se tabell 4). Utifrån denna information kunde effektbehovet tas fram för pumpen igenom ekvation 7. Efter att ha suttit in de numeriska värden i ekvation 7 gav beräkningen en effektbehov på 5,4 kW. Utifrån effektbehovet kunde motorstyrkan beräknas fram med hjälp av ekvation 8, vilket gav ett värde på cirka 5,9 kW. Men som tidigare nämnt kommer 1 kW att adderas till motorstyrkan för att vara säker på att systemet klarar av pumpens behov, vilket beräknades fram med hjälp av ekvation 8.

För system 2 fick den erforderliga pumptrycket till 96 mvp vilket är mindre än 100 antogs en pumpeffektivitet på 85% (se tabell 4). Utifrån denna information kunde effektbehovet tas fram för pumpen igenom ekvation 7. Efter att ha suttit in de numeriska värden i ekvation 7 gav beräkningen en effektbehov på 5,8 kW. Utifrån effektbehovet kunde motorstyrkan beräknas fram med hjälp av ekvation 9, vilket gav ett värde på cirka 6,7 kW.

$$Effektbehov \text{ (system 1)} = \frac{88,4 \cdot 19}{3,67 \cdot 85} = 5,4 \text{ kW}$$

$$Total \text{ motorstyrka (system 1)} = (5,4 \cdot 1,1) + 1 = 6,9 \text{ kW} \approx 7 \text{ kW}$$

$$Effektbehov \text{ (system 2)} = \frac{88,4 \cdot 50}{3,67 \cdot 85} = 5,8 \text{ kW}$$

$$Total \text{ motorstyrka (system 2)} = 5,8 \cdot 1,1 = 6,7 \text{ kW} \approx 7 \text{ kW}$$

Utifrån motorstyrkan kunde antalet solpanel beräknas fram för system 1. System 2 behöver inte extra el därav bestämdes det att system 2 hade en energianvändning på cirka 7 kW. När det kommer till system 1 undersöktes flertal olika solpaneler med olika effekt (se tabell 4. Genom att använda ekvation 11 kunde antalet solpanel beräknas fram. Beräkningarnas resultat kan observeras i tabell 19.

$$Antal \text{ solpaneler} = \frac{7 \cdot 1 \text{ 000}}{360} = 19 \text{ st}$$

$$Antal \text{ solpaneler} = \frac{7 \cdot 1 \text{ 000}}{370} = 19 \text{ st}$$

$$Antal \text{ solpaneler} = \frac{7 \cdot 1 \text{ 000}}{380} = 18 \text{ st}$$

$$Antal \text{ solpaneler} = \frac{7 \cdot 1 \text{ 000}}{400} = 18 \text{ st}$$

$$Antal \text{ solpaneler} = \frac{7 \cdot 1 \ 000}{405} = 17 \text{ st}$$

$$Antal \text{ solpaneler} = \frac{7 \cdot 1 \ 000}{410} = 17 \text{ st}$$

$$Antal \text{ solpaneler} = \frac{7 \cdot 1 \ 000}{425} = 16 \text{ st}$$

$$Antal \text{ solpaneler} = \frac{7 \cdot 1 \ 000}{460} = 15 \text{ st}$$

Tabell 19: Antal solpaneler utifrån olika effekt

Effekt [W _e]	Antal paneler [st]
360	19
370	19
380	18
400	18
405	17
410	17
425	16
460	15

Utifrån beräkningarna samt priser för olika solcellerna valdes 405, 410 eller 425 Watt solpanelerna, då det inte finns markanta skillnader i pris per panel och pris för installation mellan panelerna (LED Mega store u.å.; SolProffset 2023; Trygghandel 2023). Antal kvadratmeter som behövs för att kunna klara av pumpens behov med hjälp av solpanelerna är cirka 42 m² utifrån ekvation 13, vilket användes i denna studie (SolcellsOfferter u.å.). Areal räknades fram med hjälp värdena 6 m²/kW (se tabell 5) och 7 kW (motorstyrka för system 2 användes kombinerad med ekvation 12).

$$Total \text{ antal kvadratmeter} = 7 \cdot 6 = 42 \text{ m}^2$$

8.1.2 Beräkning av klimatpåverkan

Vid beräkning av klimatpåverkan för båda systemen antogs vissa saker (se sektion 4.1). För system 1 undersöktes enbart solcellernas produktion in i klimatpåverkan och för system 2 beräknades klimatpåverkan för pumpens el användning. Bevekelsegrunden till varför beräkningen

av klimatpåverkan är avgränsad till just dessa två delar är på grund av att båda systemen har ungefär samma komponenter. Vissa komponenter skiljer sig, men mestadels fanns det inga markanta skillnader.

För klimatpåverkan från solpanel produktionen användes data från Ecoinvent (u.å.). Datan som samlades in för detta kan observeras i tabell 8. För monokristallina solpaneler är energianvändningen vid produktion 4,71 kWh/m². För att få fram emissionen för system 1 användes ekvation 13. Där 50 g CO₂-ekv/kWh är ett mått för andel icke-förnybar energi som förbrukas vid el användning (Vattenfall 2023). Antal kvadratmeter beräknades fram till 42 m² utifrån tidigare beräkningar. Emission beräkningarna för system 2 togs fram med hjälp av ekvation 14 där motorstyrkan är 7 kW och driftiden är 1 320 timmar, vilket är för hela bevattningsperioden (se tabell 3).

$$Emmission \text{ från system } 1 = 4,71 \cdot 50 \cdot 42 = 9\,891 \text{ g } CO_2 - ekv \approx 10 \text{ kg } CO_2 - ekv$$

$$Emmission \text{ per hektar system } 1 = \frac{10}{6} \approx 1,6 \text{ kg } CO_2 - ekv \text{ ha}$$

$$Emmission \text{ från system } 2 = 7 \cdot 50 \cdot 1320 = 225\,000 \text{ g } CO_2 - ekv \approx 462 \text{ kg } CO_2 - ekv$$

$$Emmission \text{ per hektar system } 2 = \frac{462}{30} \approx 15,4 \text{ kg } CO_2 - ekv \text{ ha}$$

8.1.3 Beräkningar av vattenanvändning

Beräkning av vattenanvändningen utgicks från behovet som grödan Vall behöver under en bevattningssäsongen multiplicerat med 1,5 och dividerad med 1 000 för att få mängden i meter. Beräkningen genomfördes med ekvation 16 och gav ett värde på 0,357 för båda systemen. Därefter multiplicerades det värdet med systemens arealer i m² för att få mängden vatten från meter till m³. Vilket gav den totala mängden vatten som behövs för bevattning för var och en av arealerna, därefter dividerades mängden med antal hektar vilket gav ett värde i m³/ha. Denna beräkning utfördes med ekvation 17. Se tabell 9 för numeriska värden. Mängden per hektar fick till 3 570 m³/ha för båda systemen och den totala volymen beräknades till 21 420 m³ för system 1 och 107 100 m³.

$$Vatten \text{ Mängd system } 1 = \frac{238 \cdot 1,5}{1000} = 0,357m$$

$$Vatten \text{ Mängd per hektar system } 1 = \frac{0,357 \cdot 60000}{6} = 3570 \text{ m}^3/ha$$

$$Total \text{ vatten Mängd system } 1 = 3570 \cdot 6 = 21420 \text{ m}^3$$

$$Vatten \text{ Mängd system } 2 = \frac{238 \cdot 1,5}{1000} = 0,357m$$

$$Vatten \text{ Mängd per hektar system } 2 = \frac{0,357 \cdot 60000}{6} = 3570 \text{ m}^3/ha$$

$$Total \text{ vatten Mängd system } 2 = 3570 \cdot 30 = 107100 \text{ m}^3$$

8.1.4 Skörde beräkningar

Datan för skördemängd kommer från tidigare studier och som undersökt hur mycket skörd som kan fås under i medel under ett år. Datan för skördemängd för Gotland utgicks från 2022 och 2023 där ett medelvärde beräknades fram, vilket var 5 257 kg/ha för potentiell skördemängd för båda systemen. Därefter beräknades den totala mängden skörd fram för var och en av systemen genom ekvation 18. Se tabell 10 för numeriska värden och bildaga 8.1.4 för mer information kring hur dessa beräkningar genomfördes.

$$Total \text{ mängd skörd system } 1 = 5257 \cdot 6 = 31542kg$$

$$Total \text{ mängd skörd system } 1 = 5257 \cdot 30 = 157710kg$$

8.1.5 Kostnadsberäkningar

Vid kostnadberäkning av de olika produkterna för system 1 användes ekvation 19. Vid beräkning av kostnaderna användes resultaten från beräkningarna (se 8.1) samt informationen från tabell 6, 7 och 11. För att få fram investeringskostnaden för var och en av produkterna multiplicerades inköpskostnaden med momsen som antogs till 25% (Skatteverket u.å.). Därefter adderades alla framberäknade investeringskostnaderna, vilket gav den totala investeringskostnaden för diverse bevattningssystem.

Efter att ha fått fram investeringskostnaden behövdes annuitetsfaktorn beräknas fram igenom ekvation 20. Där numeriska värden för ränta samt livslängd för komponenterna användes. Värdena för dessa två faktorer kan observeras i tabell 6 och 7.

Sist av allt beräknades kapitalkostnaden fram för var och en av produkterna igenom att multiplicera investeringskostnaden med annuitetsfaktorn för var och en av produkterna. Detta genomfördes med hjälp av ekvation 20. Därefter adderades alla kapitalkostnader för att få fram den totala kapitalkostnaden för diverse system. Här nedan kan kostnadsberäkningarna för båda systemen observeras. Observera även att vid investeringskostnaden för solceller drogs 20% av på grund ett grönt avdrag. Sist av allt dividerades kapitalkostnaden för båda systemen med deras diverse arealer för att få kapitalkostnaden i kr/år/ha.

Kostnadsberäkningar för system 1

Investeringskostnad

$$\text{Investeringskostnad robot bevattningsmaskin} = 450\,000 \cdot 1 \cdot 1,25 = 562\,500 \text{ kr}$$

$$\text{Investeringskostnad robot bevattningsramp} = 380\,000 \cdot 1 \cdot 1,25 = 475\,000 \text{ kr}$$

$$\text{Investeringskostnad pump} = 250\,000 \cdot 1 \cdot 1,25 = 312\,500 \text{ kr}$$

$$\text{Investeringskostnad PVC rör (stam)} = 142 \cdot 67 \cdot 1,25 = 11\,893 \text{ kr}$$

$$\text{Investeringskostnad PE100 slang (gren 1)} = 160 \cdot 100 \cdot 1,25 = 20\,000 \text{ kr}$$

$$\text{Investeringskostnad PE100 slang (gren 2)} = 160 \cdot 300 \cdot 1,25 = 60\,000 \text{ kr}$$

$$\text{Investeringskostnad PE100 slang (pump och damm)} = 160 \cdot 2 \cdot 1,25 = 400 \text{ kr}$$

$$\text{Investeringskostnad solpaneler (inklusive installation)} = 2\,667 \cdot 42 \cdot 1,25 \cdot 0,8 = 112\,014 \text{ kr}$$

$$\text{Investeringskostnad sensorer} = 70\,400 \cdot 44 \cdot 1,25 = 168\,520 \text{ kr}$$

$$\text{Investeringskostnad väderstation} = 2\,695 \cdot 1 \cdot 1,25 = 3\,368,75 \text{ kr}$$

Annuitets faktorer

$$\text{Annuitetsfaktorn för 20 år} = \frac{\frac{R(\%)}{100} \cdot (1 + \frac{4}{100})^{20}}{(1 + \frac{4}{100})^{20} - 1} = 0,0736$$

$$\text{Annuitetsfaktorn för 30 år} = \frac{\frac{4}{100} \cdot (1 + \frac{4}{100})^{30}}{(1 + \frac{4}{100})^{30} - 1} = 0,0578$$

Kapitalkostnader

$$\text{Kapitalkostnad robot bevattningsmaskin} = 562\,500 \cdot 0,0578 = 32\,529,4 \text{ kr/år}$$

$$\text{Kapitalkostnad robot bevattningsramp} = 475\,000 \cdot 0,0578 = 27\,469 \text{ kr/år}$$

$$\text{Kapitalkostnad pump} = 312\,500 \cdot 0,0736 = 22\,994 \text{ kr/år}$$

$$\text{Kapitalkostnad PVC rör (stam)} = 11\,893 \cdot 0,0578 = 688 \text{ kr/år}$$

$$\text{Kapitalkostnad PE100 slang (gren1)} = 20\,000 \cdot 0,0578 = 1\,157 \text{ kr/år}$$

$$\text{Kapitalkostnad PE100 slang (gren2)} = 60\,000 \cdot 0,0578 = 3\,470 \text{ kr/år}$$

$$\text{Kapitalkostnad PE100 slang (pump och damm)} = 400 \cdot 0,0578 = 23 \text{ kr/år}$$

$$\text{Kapitalkostnad solpaneler (inklusive installation)} = 112\,014 \cdot 0,0578 = 6\,478 \text{ kr/år}$$

$$\text{Kapitalkostnad sensorer} = 168\,520 \cdot 0,0578 = 9\,745,5 \text{ kr/år}$$

$$\text{Kapitalkostnad väderstation} = 3\,368,75 \cdot 0,0578 = 194,8 \text{ kr/år}$$

Total investeringskostnad = Summan av alla investeringar = 1 726 195 kr

Total kapitalkostnad = Summan av alla kapitalkostnader = 104 748 kr/år

$$\text{Total kapitalkostnad per ha} = \frac{101\,374}{6} = 17\,458 \text{ kr/år/ha}$$

Kostnadsberäkningar för system 2

$$\text{Investeringskostnad bevattningsmaskin} = 375\,000 \cdot 1 \cdot 1,25 = 468\,750 \text{ kr}$$

$$\text{Investeringskostnad bevattningsramp} = 150\,000 \cdot 1 \cdot 1,25 = 187\,500 \text{ kr}$$

$$\text{Investeringskostnad pump} = 250\,000 \cdot 1 \cdot 1,25 = 312\,500 \text{ kr}$$

$$\text{Investeringskostnad PVC rör (stam)} = 142 \cdot 67 \cdot 1,25 = 11\,893 \text{ kr}$$

$$\text{Investeringskostnad PE100 slang (gren1)} = 160 \cdot 375 \cdot 1,25 = 75\,000 \text{ kr}$$

$$\text{Investeringskostnad PE100 slang (gren2)} = 160 \cdot 400 \cdot 1,25 = 80\,000 \text{ kr}$$

$$\text{Investeringskostnad PE100 slang (pump och damm)} = 160 \cdot 2 \cdot 1,25 = 400 \text{ kr}$$

$$\text{Investeringskostnad dra el (inkl installation)} = 417,3 \cdot 900 \cdot 1,25 = 469\,500 \text{ kr}$$

Annuitets faktorer

$$\text{Annuitetsfaktorn för 20 år} = \frac{\frac{R(\%)}{100} \cdot (1 + \frac{4}{100})^{20}}{(1 + \frac{4}{100})^{20} - 1} = 0,0736$$

$$\text{Annuitetsfaktorn för 30 år} = \frac{\frac{4}{100} \cdot (1 + \frac{4}{100})^{30}}{(1 + \frac{4}{100})^{30} - 1} = 0,0578$$

Kapitalkostnader

$$\text{Kapitalkostnad bevattningsmaskin} = 468\,750 \cdot 0,0578 = 27\,108 \text{ kr/år}$$

$$\text{Kapitalkostnad bevattningsramp} = 187\,500 \cdot 0,0578 = 10\,843 \text{ kr/år}$$

$$\text{Kapitalkostnad pump} = 312\,500 \cdot 0,0736 = 22\,994 \text{ kr/år}$$

$$\text{Kapitalkostnad PVC rör (stam)} = 11\,893 \cdot 0,0578 = 688 \text{ kr/år}$$

$$\text{Kapitalkostnad PE100 slang (gren1)} = 75\,000 \cdot 0,0578 = 4\,337 \text{ kr/år}$$

$$\text{Kapitalkostnad PE100 slang (gren2)} = 80\,000 \cdot 0,0578 = 4\,626 \text{ kr/år}$$

$$\text{Kapitalkostnad PE100 slang (pump och damm)} = 400 \cdot 0,0578 = 23 \text{ kr/år}$$

$$\text{Kapitalkostnad dra el (inkl installation)} = 469\,500 \cdot 0,0578 = 27\,151 \text{ kr/år}$$

Kostnad för rampflyttning

Beräkning av kostnad för rampflyttning utgicks från data i tabell 11 samt ekvation 22 och 23. Antal flytt kunde räknas igenom att ta åkerns bredd, vilket är 200 m, dividerat med rampens bredd vilket är 36 m. Detta gav att det kvävs sex flyttningar. Därefter kunde den totala kostnaden

för att flytta rampen beräknas fram. Observera dock att kostnaden gäller bara för 6 flyttningar, i verkligheten kommer det behövas fler flyttningar.

$$\text{Antal flyttningar} = \frac{200}{6} = 5,5 \approx 6 \text{ flyttningar}$$

$$\text{Total kostnad för flytt} = 6 \cdot 300 = 1\,800 \text{ kr för 6 ramp flytt}$$

$$\text{Total investeringskostnad} = \text{Summan av alla investeringar} = 1\,605\,543 \text{ kr}$$

$$\text{Total kapitalkostnad} = \text{Summan av alla kapitalkostnader} = 97\,771 \text{ kr/år}$$

$$\text{Total kapitalkostnad per ha} = \frac{90\,059}{30} = 3\,002 \text{ kr/år/ha}$$

8.2 Bilaga 2

8.2.1 Intervju frågor

Som tidigare nämnt genomfördes en semstrukturerad digital intervju för studien. Detta för att få in information kring vissa kriterier, samt för att kunna få en bättre förståelse kring hur marknaden ser ut med avseende på potential och behov. Nedan kan både texten som skickades ut innan intervjun, samt intervju frågorna observeras. Texten som skickades innan intervjun hade som syfte att få en initial kontakt med aktörerna, därefter bokades ett möte in med hjälp av Zoom. Intervjun började först med frågorna vilka presenteras här nedan, därefter skedde diskussioner samt följdfrågor vilka inte presenteras här. Vid analyseringen av resultatet togs inte alla svar med från intervjun då de inte var relevanta. Dessa svar användes mer som stöd/underlag för diskussionen.

Initial första mail till bevattningsföretag

Hej!

Förlåt om jag stör, hoppas allt är bra med er!

Mitt namn är Salman, jag pluggar civilingenjör inom miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet.

Just nu jobbar jag med mitt examensarbete där jag undersöker ett bevattningssystem här i Sverige. Jag kollar på vilka olika tekniker som finns i dagsläget och hur vanliga de är. Dessutom kommer jag att kolla på olika ramp bevattningssystem utifrån kostnad, energiförbrukning, materialanvändning m.m.

För att få en så bra överblick som möjligt kring bevattnings situationen här i Sverige skulle jag jättegärna vilja utföra en snabb intervju med er som tar max 30 min. Jag kommer ställa ett par frågor kring ert utbud samt lite frågor kring era priser m.m.

Jag skulle verkligen uppskatta ifall ni skulle gå med på att göra intervjun då mitt exjobb är väldigt beroende av er support och era svar. Jag skulle uppskatta ifall ni tar er de 30 min för att hjälpa mig att göra mitt exjobb så bra som möjligt!

Om ni går med på intervjun så kan vi antingen ta det via Zoom eller telefon. Återkom bara med en dag och tid som fungerar för er. Om ni vill köra via telefon, skicka gärna ett nummer jag kan ringa, men om ni hellre vill köra via Zoom så kan jag skicka en mötesinbjudan.

Om ni vill försäkra er om att jag verkligen genomför ett exjobb kan ni kontakta min handledare och ämnesgranskare:

Handledare: Staffan Filipsson, Projektledare, staffan.filipsson@ivl.se, +46107886575 Ämnesgranskare: Abraham Joel, Forskare på SLU, abraham.joel@slu.se, +4618672923

Återkom gärna!

Mvh Salman

Intervju frågor till bevattningsföretag

Frågor kring rör och slangar:

- Vilka olika sorters material är era rör producerade av?*
- Vilka olika diametrar har dessa rör?*
- Vad kostar era rör? (intervall)*
- Vilka olika sorters material är era slangar producerade av?*
- Vilka olika diametrar har dessa slangar?*
- Vad kostar era slangar? (intervall)*

Frågor kring ramper:

- Hur fungerar era ramper? Dvs hur rör de sig? (kort beskrivning)*
- Vilka storlekar är era ramper?*
- Vad är trycket i dessa ramper?*

- *Har ni automatiserade ramper? Om ja hur är de automatiserade?*
- *Hur dras slangar in?*
- *Har ramperna mekaniska slang indragare?*

Frågor kring pumpar:

- *Vilka sorters pumpar har ni och vad är energianvändningen på dessa?*
- *Har ni smarta pumpar? Om ja hur är de smarta?*
- *Hur mycket kostar era pumpar?*
- *Har ni solpumpar?*

Frågor kring bevattningssystem:

- *Måsta man ha en stamledning om en bevattningsdamm ligger intill åkern?*
- *Kan stamledningen direkt kopplas till rampen eller måste man ha en till spridarledning mellan rampen och stamledningen?*
- *Måste man ha en spridarledning för rampbevattning?*
- *Spridare behöver en bevattningsmaskin, men måste man ha en bevattningsmaskin om man använder rampbevattning?*

Fråga kring ett bevattningssystem för en åker:

- *Om ni har en 6 ha mark där vall ska odlas och systemet ska bevattnas med rampbevattning vilken sorts ramp bevattningssystem skulle ni rekommendera? (Utgå från era tidigare försäljningar!) Dvs vilka material och tekniker som kommer användas samt vilka kostnader som kommer uppstå! Låt säga att måtten är (300 m i längd och 200 m i bredd)*

Initial första mail till solcells företag

Hej!

Förlåt om jag stör, hoppas allt är bra med er!

Mitt namn är Salman, jag pluggar civilingenjör inom miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet

Just nu jobbar jag med mitt examensarbete där jag undersöker ett bevattningssystem här i Sverige. Jag kollar på vilka olika tekniker som finns i dagsläget och hur vanliga de är. Dessutom kommer jag att kolla på olika ramp bevattningssystem utifrån kostnad, energiförbrukning, materialanvändning m.m. Tanken är att använda solceller för att driva bevattningssystemet. Därav anledningen till att jag kontaktar er.

För att få en så bra överblick som möjligt kring hur detta kan genomföras här i Sverige skulle jag jättegärna vilja utföra en snabb intervju med er som tar max 30 min. Jag kommer ställa ett par frågor kring ert utbud samt lite frågor kring era priser m.m.

Jag skulle verkligen uppskatta ifall ni skulle gå med på att göra intervjun då mitt exjobb är väldigt beroende av er support och era svar. Jag skulle uppskatta ifall ni tar er de 30 min för att hjälpa mig att göra mitt exjobb så bra som möjligt!

Om ni går med på intervjun så kan vi antingen ta det via Zoom eller telefon. Återkom bara med en dag och tid som fungerar för er. Om ni vill köra via telefon, skicka gärna ett nummer jag kan ringa, men om ni hellre vill köra via Zoom så kan jag skicka en mötesinbjudan.

Om ni vill försäkra er om att jag verkligen genomför ett exjobb kan ni kontakta min handledare och ämnesgranskare:

Handledare: Staffan Filipsson, Projektledare, staffan.filipsson@ivl.se, +46107886575 Ämnesgranskare: Abraham Joel, Forskare på SLU, abraham.joel@slu.se, +4618672923

Återkom gärna!

Mvh Salman

Intervju frågor till solcells företag

Frågor kring solcells typ:

- Vad är era solceller producerade av? Dvs vilka material tillverkas de av?*

Frågor kring storlekar:

- Vilka storlekar har ni på era olika solpaneler?*

Frågor kring kostnad:

- Vad kostar de olika solpanelerna?*
- Har ni genomfört LCA:er på era olika solpaneler då det varierar beroende på vilket material de är gjorda av?*
- Om JA, vad är resultatet?*

Frågor kring effekt:

- Vilka effekter har ni på era solpaneler?*

Frågor kring prestanda:

- Vad är verkningsgraden på era solceller? (Intervall)*
- Vad är operation factor?*

- *Vad är Mismatch factor?*

Frågor kring optimering:

- *Har ni några program för att se data och därefter optimera användningen?*
- *Om JA, hur fungerar dessa system?*

Initial första mail till forskningsinstitut

Ingen initial mail skickades till forskningsinstitut, utan kontakt skedde personligen. Inga namn avges i denna studie.

Intervju frågor till forskningsinstitut

Frågor kring sensorer:

- *Funktion av sensorer (installation)?*
- *Kostnad?*
- *Hur lagras datan?*

Frågor kring hardware:

- *Vilka hardware brukar användas?*

Frågor kring sprinklers/boom automation utifrån sensor datan (exempelvis pivot):

- *Sprinklers kan anpassa sig, hur gör de det och hur styrs de?*
- *Vad kan sådana sprinklers kosta?*

Frågor kring GPS styrning:

- *Hur mycket kostar det?*

Robot irrigation fråga:

- *Vilka komponenter används?*

Frågor kring GSM:

- *Vad är GSM?*
- *Hur fungerar dessa?*
- *Vilka GSM brukar användas?*

Frågor kring IoT inom bevattning:

- *Vad är IoT?*
- *Hur fungerar dessa?*
- *Vilka IoT brukar användas?*

8.3 Bilaga 3

8.3.1 Sammanställning för system 1

Tabell 20: Sammanställning av dimensionering

Dimensionering					
Total bevattningstid [dygn]	Total area [m ²]	Total behov [mm]	Totala flödet [m ³ /h]	-	Referenser
3	60 000	238	19	-	Egna beräkningar
Genomströmning [L/s]	H _f stamledning [mvp]	H _f grenledning [mvp]	H _f mellan pump och damm [mvp]	H _f mellan maskin och ramp [mvp]	Referenser
5,3	0,29	0,43	0,0087	1,3	Egna beräkningar

Tabell 21: Sammanställning av kostnader

Kostnader				
Produkt	Mängd	Investering [kr]	Kapitalkostnad [kr/år]	Referenser
Robot bevattningsmaskin	1 [st]	562 500	32 529	Egna beräkningar
Robot bevattningsramp	1 [st]	475 000	27 469	Egna beräkningar
PVC rör (stam)	67 [m]	11 893	688	Egna beräkningar
PE100 slang (gren 1)	100 [m]	20 000	1 157	Egna beräkningar
PE100 slang (gren 2)	300 [m]	60 000	3 470	Egna beräkningar
PE100 slang (pump och damm)	2 [m]	400	23	Egna beräkningar
Sensorer	44 [st]	168 520	9 746	Egna beräkningar
Solpaneler inkl installation	16-17 [st]	112 014	6 478	Egna beräkningar
Pump	1 [st]	312 500	22 994	Egna beräkningar
Smarta sprinklers	-	-	-	-
Väderstation	1 [st]	3 369	195	Egna beräkningar
Databas station	-	-	-	-

Tabell 22: Sammanställning av total energianvändning och total klimatpåverkan

Energianvändning				
Effektbehov [kW]	Total energi-användning [kW]	Produktion (solpaneler) [kW]	Energianvändning per hektar [kW/ha]	Referenser
7	6	7	1 167	Egna beräkningar
Klimatpåverkan				
Total klimatpåverkan [kg CO ₂ -ekv]		Klimatpåverkan per hektar [kg CO ₂ -ekv/ha]		Referenser
10		1,6		Egna beräkningar

Tabell 23: Sammanställning av vatten- och skördemängd

Vattenanvändning		
Total volym vatten [m ³]	Vattenvolym per hektar [m ³ /ha]	Referenser
21 420	3 570	Egna beräkningar
Skördemängd		
Total mängd skörd [kg]	Mängd skörd per hektar [kg/ha]	Referenser
31 542	5 257	Egna beräkningar

8.3.2 Sammanställning för system 2

Tabell 24: Sammanställning av dimensionering

Dimensionering					
Total bevattningstid [dygn]	Total area [m ²]	Total behov [mm]	Totala flödet [m ³ /h]	-	Referenser
4	300 000	238	50	-	Egna beräkningar
Genomströmning [L/s]	H _f stamledning [mvp]	H _f grenledning [mvp]	H _f mellan pump och damm [mvp]	H _f mellan maskin och ramp [mvp]	Referenser
5,3	0,28	1,6,43	0,0084	1,7	Egna beräkningar

Tabell 25: Sammanställning av kostnader

Kostnader				
Produkt	Mängd	Investering [kr]	Kapitalkostnad [kr/år]	Referenser
Bevattningsmaskin	1 [st]	468 750	27 108	Egna beräkningar
Bevattningsramp	1 [st]	187 500	10 843	Egna beräkningar
PVC rör (stam)	67 [m]	11 893	688	Egna beräkningar
PE100 slang (gren 1)	375 [m]	75 000	4 337	Egna beräkningar
PE100 slang (gren 2)	400 [m]	80 000	4 626	Egna beräkningar
PE100 slang (pump och damm)	2 [m]	400	23	Egna beräkningar
Pump	1 [st]	312 500	22 994	Egna beräkningar

Tabell 26: Sammanställning av extern kostnad

Kostnader				
Produkt	Mängd	Pris [kr/flytt]	Total kostnad [kr/6 flytt]	Referenser
Flyttning av ramp	6 [flytt]	300	1 800	Egna beräkningar

Tabell 27: Sammanställning av energianvändning och klimatpåverkan

Energianvändning		
Effektbehov [kW]	Total energi-användning [kW]	Referenser
6,5	7	Egna beräkningar
Klimatpåverkan		
Total klimat-påverkan [kg CO ₂ -ekv]	Klimatpåverkan per hektar [kg CO ₂ -ekv/ha]	Referenser
462	15,4	Egna beräkningar

Tabell 28: Sammanställning av vatten- och skördemängd

Vattenanvändning		
Total volym vatten [m ³]	Vattenvolym per hektar [m ³ /ha]	Referenser
107 100	3 570	Egna beräkningar
Skördemängd		
Total mängd skörd [kg]	Mängd skörd per hektar [kg/ha]	Referenser
157 710	5 257	Egna beräkningar

8.3.3 Sammanställning för intervju svar

Sammanställning kring intervju svaren kan observeras i flertal olika tabeller. Men här nedan i tabell sammanställs information som delvis togs ifrån intervjuerna. Intervjun besvarades av två olika bevattningsföretag, två olika solcells företag och en forskningsinstitut. Inga namn utges i studien då detta är utlovad til de aktörer som deltog i intervjuerna. De numeriska värden kan observeras i tabell 6, 7, 3, 4, 5 och 11.

Tabell 29: Information från intervjuerna

Material	Information
Bevattningsmaskin	Olika priser, utseende samt funktion
Bevattningsramp	Olika priser, utseende samt funktion
Robot bevattningsmaskin	Maskinernas funktion och variationer i pris
Robot bevattningsramp	Maskinernas funktion och variationer i pris
PVC rör	Olika priser och dimensioner
PE100 slang	Olika priser och dimensioner
Solpanel	Olika priser, dimensioner samt variation i material
Tryck i bevattningsmaskin	Variationer i tryck beroende på storlek
Tryck i ramp	Variationer i tryck beroende på storlek
Rampstorlek	Längden på de olika storlekarna som finns i marknaden