



Kan bevattningsuttag ur en modifierad sjö öka motståndskraften vid torka på ett hållbart sätt?

En studie av Vansjön och omgivande jordbruksmark

Can a modified lake supply with irrigation water to increase drought resilience in a sustainable way? – a study of Vansjö lake and surrounding agriculture

Ida Segesten

Självständigt arbete i miljövetenskap • 15 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap (NJ) /Institutionen för mark och miljö

Biologi och miljövetenskap – kandidatprogram

Nummer i serien 2025:06

Uppsala 2025



Kan bevattningsuttag ur en modifierad sjö öka motståndskraften vid torka på ett hållbart sätt? En studie av Vansjön och omgivande jordbruksmark

Can a modified lake supply with irrigation water to increase drought resilience in a sustainable way? – a study of Vansjö lake and surrounding agriculture

Ida Segesten

Handledare: Jennie Barron, SLU, Institutionen för mark och miljö
Examinator: Abraham Joel, SLU, Institutionen för mark och miljö

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i Miljövetenskap
Kurskod: EX0896
Program/utbildning: Biologi och miljövetenskaps - kandidatprogram
Kursansvarig inst.: Institutionen för vatten och miljö
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2025
Nummer i serien: 2025:06
Serietitel: Examensarbeten / Institutionen för mark och miljö, SLU

Nyckelord: bevattning, bevattningsuttag, vall, hållbart jordbruk, Penman-Monteith-ekvationen

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för mark och miljö

Sammanfattning

Sveriges jordbruksmark är till stor del beroende av regn för sin vattenförsörjning. Vilket gör dess skördar och därmed livsmedelsproduktionen beroende av regn i rätt tid och mängd. Historiskt har bevattning genomförts i låg utsträckning. Detta kan dock ändras som följd av de pågående klimatförändringarna som förväntas leda till förändrade nederbördsmonster. Studien genomfördes vid Vansjön, där en fördämning planerats med mål om att skapa god vattenförsörjning, hög vattenkvalité, biologisk mångfald och bättre motståndskraft mot klimatförändringar, delvis genom möjlighet till bevattningsuttag. Studien syftar till att undersöka om det är möjligt att göra ett bevattningsuttag av en tillräcklig storlek för att öka lantbrukens motståndskraft vid torka utan att motverka regleringens resterande mål.

Bevattningsbehovet simulerades för medel och torrår med mjukvaran Cropwat 8.0, som baseras på FAO:s Irrigation and Drainage Paper no. 56. Simuleringarna baserades på indata från tidigare studier av Vansjön, intervjuer av lokala experter, väderdata och bevattningslitteratur. Hur mycket parametrar med osäkra indata påverkade resultaten testades. Resultaten visar att det ansökta bevattningsuttaget inte räcker för att täcka det simulerade bevattningsbehovet, varken för medelår eller torrår. Motståndskraften vid torka skulle än dock kunna ökas genom bevattning för att undvika torkstress. Simuleringsresultaten bedömdes dock innehålla stora osäkerheter till följd av få simuleringar, användandet av konstruerade typår och modellens känslighet för mängden totalt växttillgängligt vatten, vilket gjorde frågeställningen svår att besvara med säkerhet. För en minskad osäkerhet i framtida simuleringar bör data från flera år användas, mätningar för totalt växttillgängligt vatten göras och bevattningsstrategin anpassas.

Nyckelord: bevattning, bevattningsuttag, vall, hållbart jordbruk, Penman-Monteith-ekvationen.

Abstract

Sweden's agricultural land largely depends on rainfall for water supply, making harvests and food production reliant on timely and sufficient precipitation. The implementation of irrigation has historically been low in Sweden. However, this may change as a result of ongoing climate change which is expected to change precipitation patterns. The study was carried out at Vansjön, where a damming is planned with the aim of creating good water supply, high water quality, biodiversity and better resilience to climate change, partly through irrigation withdrawal. The study aims to investigate whether it is possible to make an irrigation withdrawal of sufficient size to increase agricultural resilience to drought without counteracting the remaining objectives of the regulation.

Irrigation demand was simulated for average and dry years using Cropwat 8.0 software, based on FAO Irrigation and Drainage Paper no. 56. The simulations were based on data from previous studies of the lake, interviews with local experts, weather data and irrigation literature. How much parameters with uncertain inputs affected the results was tested. Results indicate that the applied irrigation withdrawal is insufficient to meet simulated demand in both average and dry years. Drought resilience could still be increased by irrigation to prevent drought stress. However, the simulation results contain large uncertainties due to a small number of simulations, the use of constructed typical years and the model's sensitivity to the amount of total plant-available water. This making definitive conclusions challenging. To reduce uncertainty in future simulations, data from several years, measurements of total plant available water, and adapting the irrigation strategy are recommended.

Keywords: irrigation, irrigation withdrawal, ley, sustainable agriculture, Penman-Monteith equation

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	6
Figurförteckning	7
1. Inledning	8
1.1 Syfte och frågeställning	9
1.2 Bakgrund	10
1.2.1 Bevattningsav odlingsmark	10
1.2.2 Bevattnings i Sverige	10
1.2.3 Bevattningsberäkningar	12
2. Material och metod	15
2.1 Beskrivning av Vansjön och dess avrinningsområde	15
2.1.1 Tidigare studier och rapporter om Vansjön	18
2.1.2 Intervjuer av lokala experter	19
2.2 Metod för simulering av bevattningsbehov	20
2.2.1 Insamling, bearbetning av indata, samt antaganden	22
2.3 Jämförelse av simuleringar och kontroll av data	27
3. Resultat	29
3.1 Intervjuer	29
3.2 Evapotranspiration och bevattningsbehov	30
3.3 Jämförelse mellan simuleringar för beräkning av bevattningsbehov	37
4. Diskussion	39
4.1 Hur stort var bevattningsbehovet?	39
4.2 Studien i ett kritiskt perspektiv	40
4.2.1 Konsekvenser av metodval	40
4.2.2 Resultatets osäkerhet	41
4.3 Kan motståndskraften vid torka öka?	42
4.4 Slutsatser och rekommendationer	44
Referenser	45
Tack	48

Tabellförteckning

Tabell 1. Intervjufrågor	20
Tabell 2 Summering av genomförda simuleringar, deras namn samt hur dessa skiljer sig.	21
Tabell 3. Klimat och väderparametrar använda för beräkning av ET_0 samt nederbörd, enhet, tidsenhet och plats för använda och erhållna dataserier samt referens.	22
Tabell 4 Växtparametrar och använda parametervärden till utförda simuleringar. Där TAM står för totalt växttillgängligt vatten, in står för initialt.	26
Tabell 5 Markparametrar och använda parametervärden till utförda simuleringar.	26
Tabell 6 Bevattningsstrategier använda i simulering av bevattningsbehov, där TAM står för totalt växttillgängligt vatten och F_c för fältkapacitet.	27
Tabell 7. Totalt bevattningsbehov angivet i mm, samt underskottet av växttillgängligt vatten vid sista möjliga bevattningsdag, angivet i mm.....	35
Tabell 8 Visar förändringar i ET_0 -beräkningen om ingående klimat och väderparametrar var för sig ökats eller minskats med 50%.	37

Figurförteckning

Figur 1 Karta över Vansjön med omnejd inklusive tillrinnande delavrinningsområden och omgivande markanvändning.....	16
Figur 2 Avlästa vattennivåer mellan 2013–2020, under isfri tid..	17
Figur 3 Tänkt regleringskurva samt förväntade medelvattennivåer med och utan bevattningsuttag om 120 000 m ³ /säsong, ..	18
Figur 4 Simulerade vattennivåer i Vansjön efter fördämning.....	18
Figur 5. Års- och säsongsnederbörd i mm per år under perioden 2000–2021.....	23
Figur 6 Beräknad ET ₀ och använd nederbördsdata per månad för a) medelåret b) torråret..	31
Figur 7 Vattenunderskott, bevattningsbehov för medelår i mm/dag. a) visar vattenunderskottet för ett medelår utan bevattning beräknat enligt scenariot Med2rot90B. b) Bevattningsbehovet för samma scenario.	33
Figur 8 Vattenunderskott, bevattningsbehov för torrår i mm/dag. a) visar vattenunderskottet för ett medelår utan bevattning beräknat enligt scenariot Torr2rot90B. b) Bevattningsbehovet för samma scenario.....	34
Figur 9 Simulerat bevattningsbehov och vattenåtgång i m ³ för 200ha en säsong.....	36
Figur 10. Antalet hektar som kan bevattnas med det ansökta bevattningsuttaget. Beräknat med 70% bevattningseffektivitet.	36

1. Inledning

Vatten är en livsviktig men begränsad resurs som är nödvändig för i stort sett all livsmedelsproduktion. För växtodling är det av stor vikt att vatten finns i både rätt kvantitet och kvalitet. Majoriteten av den svenska odlingsmarken är helt regnförsörjd och enligt statistik från 2023 bevattnades endast knappt 3% av all jordbruksmark (Jordbruksverket 2024). Skördarna och i förlängningen Sveriges livsmedelsproduktion är därmed i stor utsträckning beroende av regn i rätt tid och rätt mängd. Såväl för mycket som för lite regn vid fel tidpunkt kan resultera i minskad eller till och med förlorad skörd genom översvämning respektive torka.

Historiskt har ett stort fokus legat på dikning och annan avvattning mer än på bevattning. Under lång tid har diken anlagts, sjöar och våtmarker sänkts för att förbättra eller skapa ny odlingsmark. Från 1880-talet till och med 1950-talet sänktes eller torrlades så många som 2500 sjöar i Sverige (Svenskt vattenarkiv 1995). Platsen för denna studie, Vansjön Nordsjön med omnejd, beläget i västra Uppland, är inte ett undantag. Där sänktes eller tömdes flertalet sjöar 1992 för att komma åt mer jordbruksmark (Svenskt vattenarkiv 1995). För Vansjön minskades medeldjupet med 2 meter (Vansjö Nordsjö vattenvårdsförening 2011).

Vikten av bevattning och dränering kan dock komma att förändras till följd av klimatförändringarna och dess effekter. Redan i den nuvarande klimatperioden har förändringar i klimatet observerats jämfört med förindustriell tid. Genom analys av historiska data har Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) konstaterat att de dominerande förändringarna som skett i Sverige är en ökad årsnederbörd, temperatur samt solinstrålning (SMHI et al. 2022). Ökningen i nederbörd skedde dock främst under höst och vinter (SMHI et al. 2022). Enligt klimatmodeller sammanfattade av SMHI förväntas trenderna med ökad årsnederbörd och medeltemperatur att fortsätta. Samtidigt är det sannolikt att nederbördsmönster förändras och resulterar i såväl fler torra perioder och fler dagar med kraftigt regn (SMHI 2024). Trots att nederbörden inte förväntas minska under växtperioden förväntas klimatförändringarna leda till ett ökat nederbördsunderskott, det vill säga en högre avdunstning och transpiration än nederbörd.

Vad klimatförändringarna kan komma att innebära i Sverige och behovet av en motståndskraftig vattenförsörjning blev konkret under 2018 då Sverige drabbades av extremväder i form av både värme och torka som bland annat ledde till stora

skördeföraster. Enligt en sammanställning av Jordbruksverket var jordbruket en av de mest drabbade näringarna och de totala kostnaderna uppskattades till runt 6-10 miljarder kronor (Jordbruksverket 2019). Efter det har intresset för bevattning inom lantbruket ökat se till exempel (Lantbruksnytt 2023; Jordbruksaktuellt 2024). Även för lantbrukarna runt Vansjön Nordsjön, har intresset för att i framtiden kunna bevattna åkrar ökat efter torkan 2018. I samband med den lokala vattenvårdsföreningens planering av ett restaurerings- och regleringsprojekt ansökte de om att få göra bevattningsuttag från sjön (Pettersson & Sandell 2020). Inom projektet planerades en höjning och reglering av vattennivån genom bygge av en fördämning. Regleringen syftade huvudsakligen till att återinföra mer naturlig variation av vattenståndet och minska igenväxningen av sjön som i dagsläget har dålig vattenkvalitet och är övergödd. Sammanfattningsvis var projektets målbild att stärka samverkan och skapa ett hållbart kulturlandskap med god vattenförsörjning, hög vattenkvalitet och biologisk mångfald samt motståndskraft vid klimatförändringar. Detta med hänsyn till såväl jordbruket, friluftslivets och besöksnäringens behov. Vid en fördämning beräknades vattnet uppehålla sig längre och det beräknades finnas utrymme att göra uttag för bevattning (Pettersson & Sandell 2020).

De många målen kan bidra till att eventuella målkonflikter kan hanteras inom projektet, men ökar också komplexiteten. Att beräkna och kvantifiera det potentiella bevattningsbehovet i området förväntas kunna bidra som underlag till framtida avvägningar mellan vattenbehov och vattentillgång vid ett eventuellt införande av bevattning. Ekonomiska aspekter av bevattning är viktigt att kvantifiera, detta ligger dock utanför den här studiens omfattning. Även val av bevattningsteknik är viktigt vid införande av bevattning men ligger utanför studiens omfattning.

1.1 Syfte och frågeställning

Syftet med studien är att undersöka hur stort bevattningsbehov lantbruken runt Vansjön kan förväntas ha vid bevattning för att öka motståndskraften vid torka baserat på hur marken brukas idag. Samt att undersöka om ett hållbart bevattningsuttag av en relevant storleksordning kan tas ur Vansjön efter att en fördämning byggts. Detta utan att väsentligt motverka restaureringsprojektets ovan beskrivna målbild.

Studien utgår från följande frågeställningar:

- Hur stort är bevattningsbehovet för lantbruken belägna runt Vansjön under medelår, respektive torra år, med utgångspunkt i hur marken brukas idag?
- Är det ansökta bevattningsuttaget tillräckligt för att öka lantbrukarnas motståndskraft vid torka?

1.2 Bakgrund

I följande avsnitt ges en generell bakgrund till bevattning av odlingsmark följt av en mer specifik bakgrund av bevattning i Sverige och av vall. Samt en redogörelse för faktorer som påverkar bevattningsbehovet och metoder för att beräkna behovet.

1.2.1 Bevattning av odlingsmark

Bevattning av odlingsmark har historiskt och globalt varit såväl livsviktigt som förknippats med negativ påverkan på vattentillgång, vattenkvalitet och omgivande natur. I många delar av världen har olika former av bevattning länge varit förutsättningen för att kunna odla och säkra tillgången till mat när tillgången till vatten varit ojämn eller låg (Angelakis et al. 2020). Samtidigt som bevattning kan vara essentiellt för en säker livsmedelsförsörjning har det också kommit att förknippas med miljöförstöring och målkonflikter. Bevattning kräver i regel stora mängder vatten och när dessa tas från lokala vattendrag kan det påverka naturliga flöden, sänka vattennivåer och påverka ekosystem negativt (Angelakis et al. 2020).

Vid en ojämn vattentillgång kan nederbördsunderskottet, det vill säga skillnaden mellan evapotranspirationen och nederbörden, under perioder bli stor. Om markvattnet inte räcker för att täcka grödans behov utsätts den för torkstress och faktum är att skördemängden påverkas negativt av torkstress långt innan torkskador blir synliga (Linnér 2003).

1.2.2 Bevattning i Sverige

Till skillnad från andra länder med torrare klimat bevattnas endast en begränsad del av odlingsmarken i Sverige. Totalt fanns det enligt Jordbruksverkets officiella statistik för år 2023 kapacitet att bevattna ca 5 % av all jordbruksmark, medan andelen mark som faktiskt bevattnades låg på knappt 3 % (Jordbruksverket 2024). Samma undersökning visade att bevattningskapaciteten minskat något medan den faktiska bevattningen ökat under de senaste 20 åren (Jordbruksverket 2024). Bevattningens omfattning kan sättas i relation till omfattningen av dränering i Sverige. Andelen jordbruksmark som anses ha tillfredställande dränering år 2023 bedömdes vara ca 61 % och systemtäckdikning bedömdes täcka ca 43 % av jordbruksmarken (Jordbruksverket 2024).

Den bevattningen som sker är främst fokuserad till högvärdiga grödor, som jordgubbar, potatis och grönsaker som odlas på lätta jordar (Jordbruksverket 2024). I enstaka fall bevattnas även vall och spannmål, då framförallt på gårdar som främst odlar högvärdiga grödor som har bevattningsanläggning med kapacitet över (Jordbruksverket et al. 2018). Av all vall som odlas i Sverige bevattnades år 2023 endast ca 2 % medan ca 16 % av all vall som odlades på ett jordbruk med bevattningsutrustning bevattnades (Jordbruksverket 2024).

Den låga bevattningskapaciteten i Sverige kan ge intrycket att bevattning inte är relevant, men trots Sveriges tempererade och humida klimat finns det under en normal växtperiod ett nederbördsunderskott. Det vill säga att mer vatten avdunstar genom evaporation från marken och växternas transpiration (evapotranspiration, ET) än vad som tillkommer genom nederbörd. Enligt Linnér (2003) ligger nederbördsunderskottet i Sverige mellan 50–200 mm en normal växtperiod. Huruvida detta underskott påverkar grödors tillväxt beror på fler faktorer som växtens egenskaper, tillgång till markvatten och hur nederbörden är fördelad under säsongen.

Bevattning kan vid stora nederbördsunderskott garantera god vattenförsörjning, vilket i tidigare studier visats kunna öka växtens nyttjande av växtnäring (Linnér 2003). En risk med bevattning vid fel tidpunkt eller för stora givor är dock att avrinningen ökar, vilket både kan leda till att näring urlakas och att vattnet inte kan nyttjas av växten (Linnér 2003). För stora givor kan leda till ytavrinning om det tillsätts mer vatten än vad som kan infiltrera marken eller dränering från rotzonen om vattenvolymen som marken kan hålla, fältkapaciteten (F_c) överskrids (Linnér 2003). Faktorer som är viktiga att ha kunskap om för att kunna anpassa bevattningsmängden och tidpunkten är växtens vattenbehov, markens egenskaper och vädret. Dessutom är en god dränering av marken viktigt även vid bevattning.

En annan viktig aspekt är var bevattningsvattnet tas ifrån. När en lantbrukare vill få rätt att göra bevattningsuttag finns det många aspekter som behöver tas hänsyn till för att inte påverka andras vattentillgång eller miljön på ett negativt sätt. Tillstånd krävs därför oftast för både bygge av fördämning och att göra uttag ur redan befintliga vattendrag eller grundvatten. Efter 2018 ökade antalet ansökningar om bevattningsuttag från naturliga vattendrag så som sjöar och åar i många delar av landet (Stork 2019 i Thor 2020).

Bevattning av vall

Bevattning av vall, liksom andra grödor förknippas med ökade insatskostnader, men även minskade osäkerheter vad gäller kvantitet och kvalitet (Linnér 2003). Trots detta samt att vatten är den mest begränsande faktorn för vall (Hansson 2012 i Thor 2020) och att så mycket som 41% av Sveriges åkermark 2023 täcktes av vall och grönfoderväxter (Jordbruksverket 2021) har intresset för bevattning av vall tidigare varit lågt. Det har dock ökat de senaste åren, efter torkan 2018 och försommaren 2023 (se tex. Lantbruksnytt 2023; Jordbruksaktuellt 2024; Tidningen Nötkött 2024). Särskilt för djurgårdar som fick märkbara ekonomiska konsekvenser av de låga vallskördarna, då foder behövde köpas.

På 90-talet gjordes flertalet bevattningsförsök i olika delar av landet bland annat för vall. De försök från 90-talet som Thor (2020) studerat i sin kandidatuppsats visar att skörden för vall ökar vid bevattning såväl normalår som torrår. Effekten var dock större på sensommaren än på vår och försommar (Thor 2020). Han

resonerar att detta kan bero på att markvattnet räcker till vallens behov på våren och försommaren men att underskottet sedan är för stort vilket påverkar möjligheten till återväxt. Vilket överensstämmer med resultat från försök på bevattning av vall på Öland och Gotland 2020. Dessa försök visar på att skillnaden mellan bevattnade och obevattnade led var större för andra och tredje skörden jämfört med första skörden (Joel et al. 2021).

1.2.3 Bevattningsberäkningar

För att undvika torkstress och torkskador på grödan behöver tillförsel av vatten ske innan tydliga symtom på uttorkning visar sig (Linnér 2003). Det finns olika typer av hjälpmedel för att bedöma vad som är en lämplig bevattningsgiva vad gäller storlek och tidpunkt. Så som bevattningsschema med fasta intervall, mätning av markfuktigheten med fuktighetsmätare, mätning av evapotranspirationen eller beräkning av den potentiella evapotranspirationen (Andås 2023). Dessa metoder har alla för- och nackdelar. Mätning av markfuktigheten har med bra instrument, potential att bli relativt exakt men är opraktisk då många mätningar krävs på varje åker, detta för att täcka upp för variation i markförhållanden (Linnér 2003). Fasta scheman eller schablonvärden för evapotranspiration och bevattningsgivor kräver ingen särskild utrustning men riskerar att inte stämma lika bra med verkligheten. Mätning av evapotranspiration är anpassad efter en gröda som har en god vattenförsörjning och inte utsätts för vattenstress men kan ibland vara mindre representativa och mer osäkra för det system man försöker beskriva. Beräkning av den potentiella evapotranspirationen med hjälp av klimatdata kan göras utan tillgång till en mätare men kräver att relevant klimatdata finns att tillgå.

En av modellerna som används för att beräkna bevattningsbehov är den av Förenta nationernas livsmedels- och jordbruksorganisation (FAO) rekommenderade modifierade Penman-Monteith-ekvationen som beskrivs i FAO i "Irrigation and Drainage paper no. 56" (Allen et al. 1998) vilken kommer att användas i denna studie. I Penman-Monteith-ekvationen beskrivs marken, från markytan till största rot djupet, som en enhet (Allen et al. 1998). Vilket gör att metoden kräver mindre kännedom om variationen i jordens textur och egenskaper i olika delar av markprofilen än andra metoder. Principen som används vid beräkning av bevattningsbehov är att beräkna markens vatteninnehåll och jämföra med en skattning av grödans vattenbehov under samma agrara och klimatiska förhållanden.

Markens vatteninnehåll och hur mycket vatten som är tillgängligt för växter beror på porsystemets utseende som i sin tur beror på markens struktur och textur (Eriksson et al. 2011). Den totala porvolymen avgör den maximala vattenhållandeförmågan, alltså vattenhalten när marken är helt vattenmättad. Fältkapacitet (F_c) är vattenhalten i marken vid dräneringsjämvikt. Vatten bundet med ett undertryck högre än 1500 kPa är i regel inte möjligt för växter att nyttja och

vattenhalten som är bunden vid minst det trycket utgör den permanenta vissningsgränsen. Det totalt växttillgängliga vattnet (TAM) utgör skillnaden mellan fältkapaciteten och den permanenta vissningsgränsen för rotdjupet (Allen et al. 1998:162; Eriksson et al. 2011).

I vattenbalansen för en given area och tidsperiod beskrivs skillnaden i vatteninnehåll (ΔS) som $\Delta S = \text{Nederbörd} + \text{Bevattning} - \text{Evapotranspiration}$. Ytavrinning, perkolation, kapillär upptransport och lateralt flöde är andra in- och utflöden som kan vara relevanta vid vattenbalansberäkningar men som i normalfallet inte anses påverka vattenbalansen på fältnivå under odlingssäsongen (Andås 2023). Ytavrinning kan ske vid skyfall eller bevattning som överskrider markens infiltrationskapacitet. Infiltrationshastigheten påverkas av faktorer som om landskapet är platt eller kuperat, samt markens textur och struktur, inklusive närvaro av makroporer eller markpackning. I Jordbruksverkets folder *Bevattning och växtnäringsutnyttjande* (2007) anges 27 mm/h som ett riktvärde för bevattningsintensitet som inte bör överskridas för att undvika ytavrinning. De understryker dock att infiltrationshastigheten kan väntas vara lägre om fältet är kuperat, marken till exempel har lätt att slamma igen eller är kompakterad (Jordbruksverket et al. 2007).

Nederbörds mängden, som utgör inflödet av vatten kan ha en stor lokal variation och bör enligt Linnér (2003) mätas lokalt på varje gård. Utflödet av vatten utgörs av evaporation och transpiration sammanslaget kallat evapotranspiration, förkortas ET. I den modifierade versionen av Penman Monteith-ekvationen beräknas potentiell evapotranspiration (ET_0) från en referensgröda, mängden vatten i millimeter som potentiellt kan evapotranspirera från marken och växter. Detta görs genom att beräkna mängden energi som finns tillgänglig för att förång vatten, baserat på en energibalans (Allen et al. 1998). Denna uträkning kräver mer väderdata än andra metoder för beräkning av ET_0 , som de flesta mindre väderstationer inte mäter (Allen et al. 1998).

Vilken gröda som odlas och dess egenskaper har stor inverkan på såväl hur mycket vatten som avges till evapotranspiration som hur mycket och hur ofta bevattning kan ske. För att beräkna en grödspecifik evapotranspiration (ET_c) används en grödkoefficient (K_c). Den är specifik för en gröda på en specifik plats och tas fram genom försökstudier. K_c -värden för många av de vanligaste grödorna odlade i olika typer av klimat finns listade av FAO (Allen et al. 1998). Då marktäckningsgraden och grödans höjd varierar mycket under växtens tillväxtstadier varierar även K_c . Dessa stadier delas upp på följande sätt initialt (K_{c-in}), utveckling (K_{c-dev}), mitten (K_{c-mid}) och slut (K_{c-end}) (Allen et al. 1998). För utvecklingsstadiet anges dock inget K_c värde utan endast antalet dagar perioden varar. För vall i Sverige är det normalt att K_c rör sig mellan 0,4-1,2 (Grusson et al. 2021). Efter att vall har klippts sjunker K_c tillbaka till K_{c-in} och nästa växtperiod börjar.

För vall och andra grödor som redan är etablerade året innan sker växtstarten först när det finns en viss temperatur. Den genomsnittliga växtstarten för platsen i denna studie och innevarande normalperiod är 14 april (SMHI n.d.).

Torkstress hos grödan är en annan faktor som minskar dess förmåga till evapotranspiration. I regel sker detta långt innan den permanenta vissningsgränsen. Baserat på tidigare svensk forskning kan detta antas ske när 50–55% av det totalt växttillgängliga vattnet evapotranspirerat (Berglund et al. 2002; Linnér 2003; Grusson et al. 2021; Andås 2023). För att beräkna grödans verkliga evapotranspiration under vattenstress (ET_c adj) används en vattenstresskoefficient (K_s) som multipliceras med ET_c (Allen et al. 1998).

Grödans rotdjup beror både på växtens och markens egenskaper, vilka båda tillsammans avgör hur mycket vatten som är tillgängligt för växten. Till exempel kan mekaniskt motstånd i marken, lågt pH och syrebrist påverka rotutvecklingen negativt. Generellt sett är rötterna inte lika täta djupare ner i marken som de är närmare ytan. Därför kan inte allt växttillgängligt vatten nyttjas i nedre delen av rotsystemet (Linnér 2003).

Bevattningsberäkningar enligt FAO no. 56 kan göras manuellt eller med hjälp av en förprogrammerad mjukvara som utför beräkningarna och simuleringar när relevanta värden matas in. Exempel på sådan mjukvara som finns att tillgå på FAO:s hemsida är Aquacrop och Cropwat 8.0 (FAO 2022), varav den senare användes i denna studie.

För en gröda med stort rotdjup på en jord med relativt god vattenhållande förmåga bör bevattning ske senast när hälften av det växttillgängliga vattnet är förbrukat. Bevattningen bör ske i givor om 15–45 mm, dock utan att fältkapaciteten överskrids då det kan leda både till ytavrinning och dränering till djupare marklager vart växtens rötter inte når (Linnér 2003).

2. Material och metod

I följande avsnitt beskrivs det geografiska området som har studerats och dess karaktär översiktligt. Därefter beskrivs genomförd information och datainsamling gjorda beräkningar och antaganden samt simuleringar och deras parametervärden. Sist beskrivs vilka jämförelser mellan simuleringar som gjorts.

2.1 Beskrivning av Vansjön och dess avrinningsområde

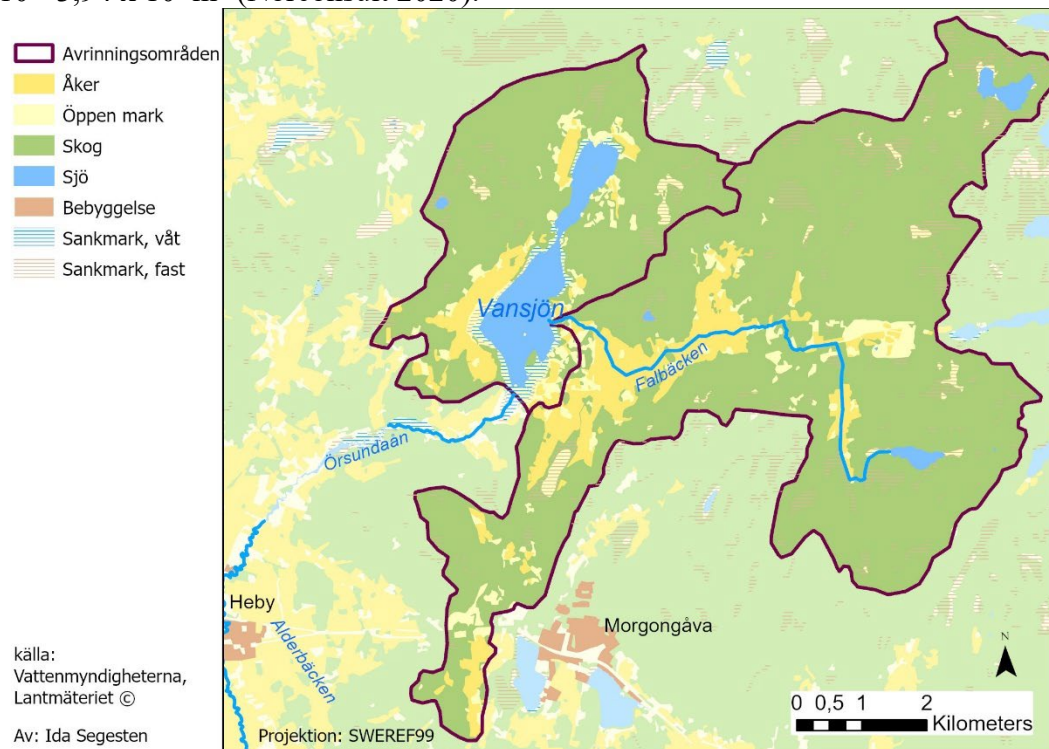
Denna studie har undersökt hållbarheten i att göra potentiella bevattningsuttag ur en modifierad sjö med Vansjön och dess omgivning som exempel. För att ge en förståelse för platsen och de förhållanden som varit relevanta för studien beskrivs här omgivande verksamheter, hydrologiska förhållanden och markförhållanden.

Vansjön är belägen strax norr om Morgongåva i Heby kommun, Uppsala län. Sjön består idag av två delar som kallas Nordsjö respektive Vansjö där delarna är förbundna med ett smalt sund, se Figur 1. I detta arbete benämns sjön i sin helhet som Vansjön.

Sjön kan idag beskrivas som en näringsrik och grund slättsjö med en yta på ca 2,4 km² med tillrinningen från två delavrinningsområden, som visas i kartan nedan (Figur 1). Tillrinningen kommer till ca 75% från Falbäcken och utloppet består av Örsundaån, beläget i söder (Lars Pettersson et al. 2019). Största delen av sjön har ett djup på 1–2 m medan det maximala djupet är ca 2,5 m (Lars Pettersson et al. 2019).

I dagsläget är sjön oreglerad vattnets omsättningstid i sjön har i genomsnitt beräknats vara fyra (4) månader men kan komma att variera mellan tre (3) och tio (10) månader (Pettersson & Sandell 2020). Enligt samma rapport utgör en forsnacke vid Månnebo sjöns lägsta tröskel där sjöns utlopp däms vid vattennivåer lägre än +53,6 meter över havet (m.ö.h) i referenssystemet RH70. Dessutom finns det ett vassbälte som delvis dämmer sjön vid vattennivåer under +54,4 (m.ö.h), (Pettersson & Sandell 2020). Enligt tidigare vattennivåmätningar gjorda mellan 2013–2020 (Figur 2) varierar vattennivån normalt mellan +53,9–+54,2 under maj–oktober och upp till 54,4 m.ö.h under vintern. Både högre och lägre vattenstånd har dock förekommit (Pettersson & Sandell 2020). Vilket enligt beräkningar av sjöns

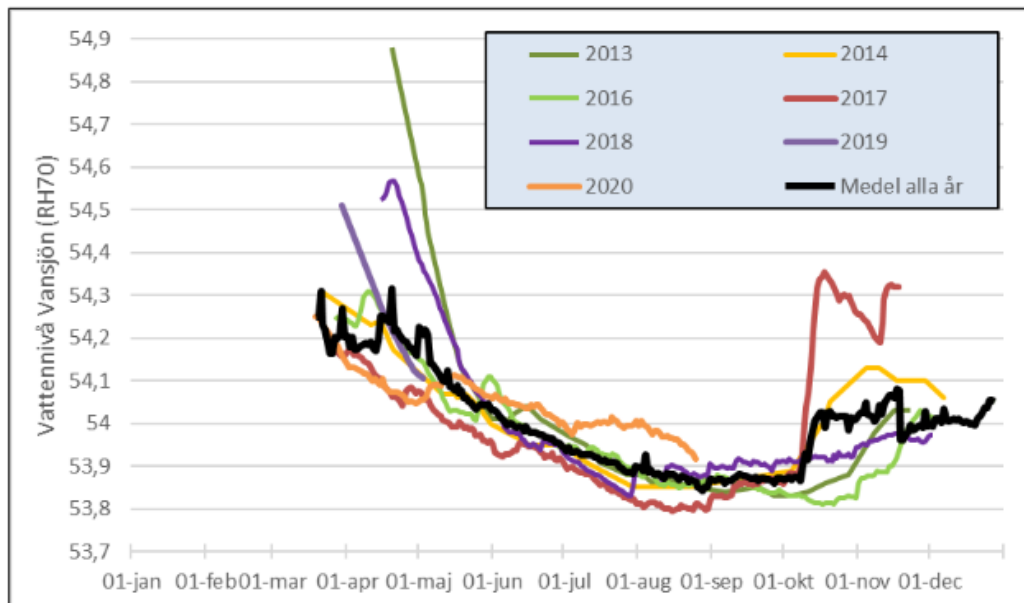
vattenvolym vid olika vattennivåer innebär en variation i volym mellan ca $2,38 \times 10^6$ – $3,94 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Norconsult 2020).



Figur 1 Karta över Vansjön med omnejd inklusive tillrinnande delavrinningsområden och omgivande markanvändning. I kartan visas även sjöns utlopp Örsundaån i söder, och sjöns största inlopp Falbäcken i sydöst. Avrinningsområden definierade av Vattenmyndigheterna (2017). Bakgrundskarta Lantmäteriet©.

Avrinningsområdet är totalt $54,6 \text{ km}^2$ (Lars Pettersson et al. 2019), och domineras av skog medan jordbruksmark omger större delen av Vansjöns och Falbäckens strandkanter (visas i Figur 1). Den jordbruksmark som finns är belägen runt om sjön och längs med bäcken. Marken i avrinningsområdet domineras av sandig morän och lera, jordbruksmarken är nästan uteslutande belägen på lera (SGU n.d.) Baserat på markkartering av Gårdsjö lantbruksmarker kan marktexturen på åkrarna runt Vansjön generellt beskrivas som mullhaltig mellanlera. Med en lerhalt mellan 30–40 % och en mullhalt omkring 5–10%.

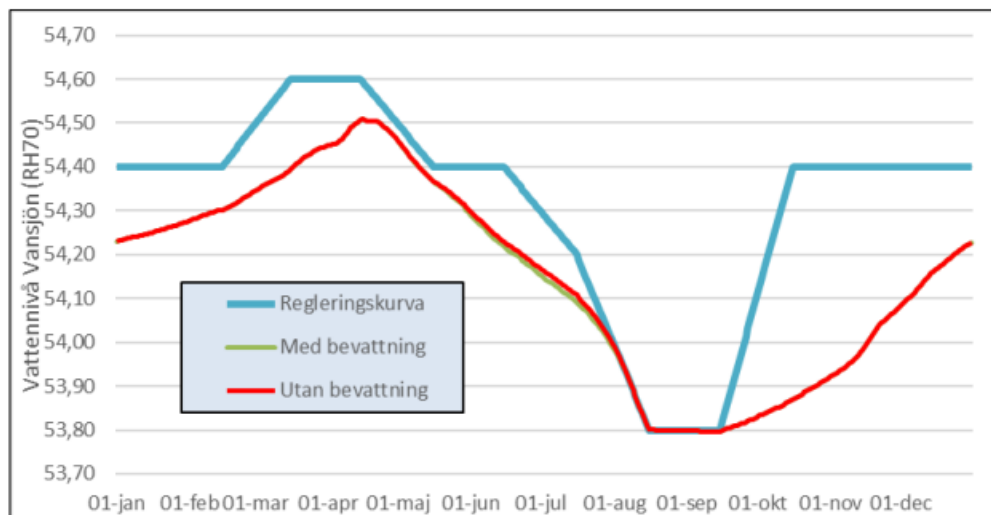
Området är som tidigare nämnts präglad av historiska avvattning och utdikningar för att sänka vattenytan och därmed få tillgång till mer åkermark. En sänkning av Vansjön respektive torrläggning av den närliggande sjön Gårdsjö genomfördes år 1902 (Svenskt vattenarkiv 1995). Vilket tillsammans med övergödning antas ha bidragit till problemen med igenväxning och syrebrist i sjön.



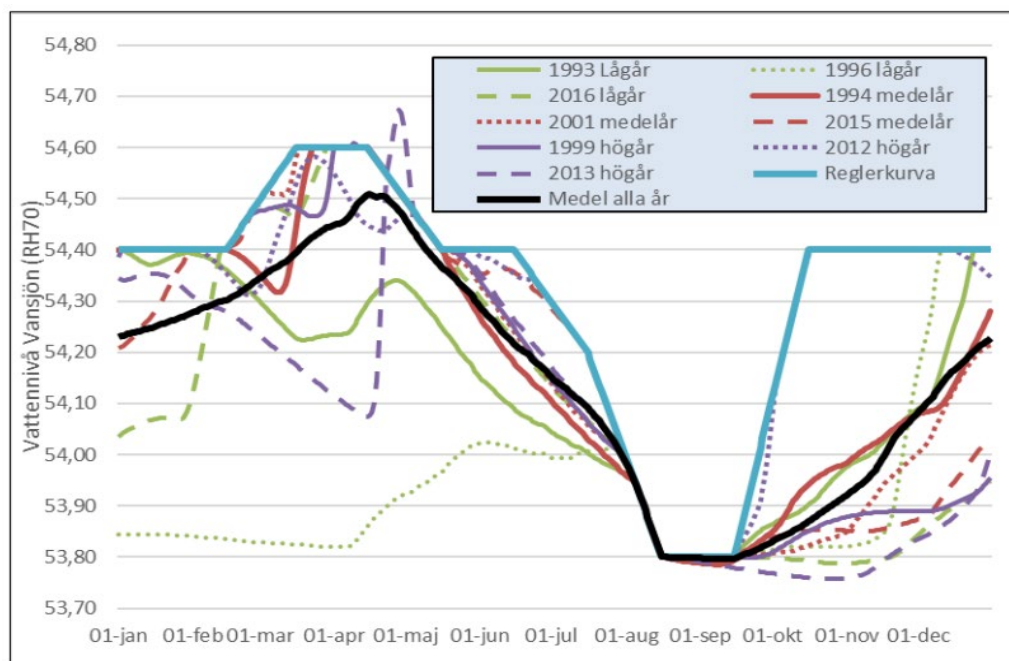
Figur 2 Avlästa vattennivåer mellan 2013–2020, under isfri tid. ur MKB för ansökan om dammbygge och faunapassage (Pettersson & Sandell 2020).

Fördämningen planeras som huvudalternativ vara automatiskt reglerad och följa regleringskurvan som visas i Figur 3. Med denna eftersträvas ett högt vattenstånd på vinter och vår för att sedan låta vattenståndet bli lägre under senare delen av sommaren. Nämda regleringskurva är framtagen efter samma antal kriterier som planen i sin helhet. De främsta kriterierna som föreningen angav var högt vintervattenstånd för att minska risken för syrebrist, reglering som minskar risken för extremt höga vattenstånd, eftersträva så stor amplitud som möjligt utan att riskera nuvarande markanvändning, en differentierad reglering vilket innebär att vattenståndet på vår-försommar är något högre än medelvattenståndet, en passage som fungerar för vattenfauna större delen av året, samt att möjliggöra bevattningsuttag för jordbruket under maj-juli (Pettersson & Norén 2020).

Enligt tidigare gjorda beräkningar inför ansökan om miljötillstånd (Pettersson & Sandell 2020) skulle ett uttag av 40 000 m³/månad dock max 4000 m³/dag under hela maj till juli (totalt 120 000 m³) inte påverka övriga mål negativt och därmed kunna ses som hållbart. Dessa beräkningar gjordes baserat på sjöns medelflöde och har inte kontrollerats inom ramen för denna studie. Simuleringar över hur regleringen utan bevattningsuttag skulle påverka vattennivån låg och högflödesår har också gjorts av Pettersson & Sandell (2020) och visas i Figur 4. Samma studie identifierade att vattenbrist kan uppkomma i sjön under extremt torra år vilket kan minska utrymmet att göra uttag för bevattning. Vid en vattennivå under +53,8 bedömdes det i studien att inget utrymme för bevattningsuttag finns (Pettersson & Sandell 2020).



Figur 3 Tänkt regleringskurva samt förväntade medelvattennivåer med och utan bevattningsuttag om 120 000 m³/säsong, ur MKB för ansökan om dammbygge och faunapassage (Pettersson & Sandell 2020).



Figur 4 Simulerade vattennivåer i Vansjön efter fördämning. Baserat på uppmätta flöden från utvalda typår under 30-årsperioden 1990–2019 och den planerade regleringskurvan, ur MKB för ansökan om dammbygge och faunapassage (Pettersson & Sandell 2020).

2.1.1 Tidigare studier och rapporter om Vansjön

Information och fakta hämtades från tidigare rapporter och studier gjorda i området. Den lokala vattenvårdsföreningen har under åren låtit göra ett flertal studier och undersökningar av sjön. Dessa har i denna studie använts för att förstå och beskriva systemet så korrekt som möjligt. Det har även tidigare gjorts ett kandidatarbete kopplat till sjön, då med fokus på övergödning i sjön (se Agrillo 2021).

Bland annat har en kartläggning och modellering av sjöns vattenbalans gjorts av konsulter inför tillståndsansökan om bygge av fördämning. Resultatet av kartläggningen finns samlat i miljökonsekvensbeskrivningen och den tekniska beskrivningen som en del av tillståndsansökan för *Byggande av damm och faunapassage samt muddringsarbeten i Vansjöns utloppsområde, Örsundaån, Heby kommun*. (Lars Pettersson & Petter Norén 2020b)

För beräkning av förändring i vattennivå till följd av bevattningsuttag har denna studie utgått från tidigare uträkningar och redan befintlig modell av sjöns vattenbalans. Modellen är gjord av Norconsult i programmet Microsofts Excel och bygger främst på modellerad flödesdata från SMHI mellan åren 1990 och 2018, men även en digital kartering av sjöns djup (Norconsult 2020) och kontinuerliga vattennivåmätningar vid sjön (se Figur 2). Modellen användes av Norconsult för att simulera potentiella flöden med den planerade fördämningen (se Figur 4). Dessutom har typiska låg-, medel- och högflödesår valts samt medelflöde för alla år beräknats.

2.1.2 Intervjuer av lokala experter

Utöver de tillgängliga rapporterna har kompletterande information samlats in genom intervjuer och mejlkorrespondens med lokala experter.

I samband med studiens start utsåg *Vansjö Nordsjö vattenvårdsförening* tre kontaktpersoner tillika lokala experter med god kännedom om området, föreningen och dess pågående projekt samt intresse för denna studie. Två av dem var lantbrukare och en var pensionerad ingenjör med ansvar för föreningens arkiv.

Intervjuer med dessa lokala experter genomfördes både via digitala möten och på plats vid Vansjön. Under arbetets gång har även följdfrågor och förtydligande frågor ställts via epost. Frågorna som ställts under studien har dels syftat till att förstå de lokala förhållandena idag och tidigare gjorda undersökningar, dels till att förstå hur de tänker framåt. Frågorna om dagsläget behandlade bland annat vad åkrarna används till idag, vad som odlas, hur många gånger skörd tas och ungefärlig tidpunkt för skörd. Frågorna om framtiden behandlade bland annat var det skulle vara intressant att bevattna i framtiden och under vilka förutsättningar de önskar kunna bevattna.

Ett inledande möte hölls den 28 mars 2022 med de lokala experterna. Där diskuterades förutsättningar för studien samt vilka tillgängliga data som fanns. Mötet dokumenterades genom digitala stödanteckningar. Ytterligare ett möte med två av de lokala experterna (lantbrukarna) skedde den 2 april 2022 genom en träff på Gårdsjö gård. Intervjun hölls på ett semi-strukturerat sätt där samtalet hölls runt ett antal förberedda områden och frågor. De huvudsakliga frågorna som ställdes berörde ämnena; vad är det för markförhållanden, vad odlas idag, ungefär när skörd tas, hur många vall skördas tas per år, samt vad och var det skulle vara av intresse att bevattna. Använt frågeformulär i Tabell 1. Svaren dokumenterades i form av

stödanteckningar på papper. Efter samtalet om de förberedda frågorna visade de lokala experterna området runt sjön inklusive några åkrarna. De lokala experterna redogjorde dessutom för den vid tillfället pågående processen att ta fram en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) i samband med tillståndsansökan. Under studiens gång avslutades ansökningsprocessen då projektet inte fick prövningstillstånd i Mark- och miljödomstolen (Vansjö Nordsjö vattenvårdsförening 2023). Ytterligare ett digitalt möte med arkivansvarig, hölls den 9 april 2022 för att bättre förstå den tidigare gjorda digitala karteringen av sjön samt de regelbundna mätningar av vattennivån som gjorts.

Tabell 1. Intervjufrågor

Intervjufrågor	
1	Vilka grödor odlas och på ungefär vilka arealer?
2	Var i landskapet ligger de områden som potentiellt skall bevattnas?
3	Vad är det för jordar/jordtyp, (framförallt texturen)?
4	Finns det något annat man kan tänkas vilja använda vatten ifrån sjön till?

2.2 Metod för simulering av bevattningsbehov

I studien har simuleringar gjorts för att ta reda på hur stort bevattningsbehov vallen som odlas på åkrarna som omger Vansjön kan förväntas ha. Detta har gjorts för två olika väderscenarion relevanta för studieplatsen och nuvarande klimat. De väderscenarion som simulerades baserades på ett för perioden 2000–2021 typiskt år med medelnederbörd och medel evapotranspiration (här kallat medelår) samt ett för perioden typiskt år med låg nederbörd och hög evapotranspiration (här kallat torrår).

Beräkningar av bevattningsbehovet i samtliga scenarion är baserat på den av FAO framtagna metod som beskrivs i *Irrigation and Drainage Paper no. 56*. (Allen et al. 1998) I studien har beräkningar gjorts med hjälp av mjukvaran Cropwat 8.0 (FAO 2009). Beräkningar i Cropwat 8.0 bygger på två publikationer i FAOs *Irrigation and Drainage* serie, nr 56 *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements* och nr 33 *Yield response to water* (FAO 2022). Data har även hanterats och bearbetats i Microsoft Excel.

Målet med simulering av konstruerade typår var att ta reda på ett potentiellt bevattningsbehov och där med ett potentiellt behov av bevattningsuttag för ett normalt respektive ett extremt torrt år, med avseende på nederbörd och nederbördsunderskott. Syftet med simuleringarna var inte att simulera verkliga år. I denna studie gjordes en simulering för respektive typår (torrår respektive medelår) där värden för okända växt och markparametrar valdes för att representera verkliga

förhållande så bra som möjligt. Övriga simuleringar gjordes för att testa modellens respons på ändring av vissa enskilda parametrar. Hur dessa simuleringar valdes beskrivs närmare i avsnitt 2.3. En översikt av vilka simuleringar som gjordes i studien visas i Tabell 2. Beskrivning av ingående parametrar, parametervärden, insamling av data, förenklingar samt gjorda antaganden beskrivs närmare i nästa avsnitt.

Totalt gjordes fjorton (14) simuleringar, sju (7) stycken för respektive typår. Simuleringarna namngavs enligt följande; vilket typår som användes (Torr/Med), vilket rotdjup och totalt växttillgängligt markvatten som användes (1rot/2rot/3rot), vilken andel initial tillgängligt markvatten som användes (90/50/30), sist efter vilken bevattningsstrategi som användes (A/B/-), exempelvis Torr2rot90B.

Tabell 2. Summering av genomförda simuleringar, deras namn samt hur dessa skiljer sig. I tabellens övre del presenteras de simuleringar som eftersträvar att vara representativa för de verkliga förhållandena, i tabellens nedre del presenteras de simuleringar som använts för att jämföra hur känslig modellen är för olika parametrar. Förklaring: Under Väder & klimat visas vilket av studiens två typår som använts torråret eller medelåret. Under Rot & totalt växttillgängligt vatten visas vilken av studiens tre rot scenarier som användes där 1 innebär minst totalt växttillgängligt vatten, 2 medel och 3 mest. Initialt tillgängligt markvatten anges i % av totalt tillgängligt markvatten. Under Bevattningsstrategi visas om och vilken bevattningsstrategi som använts, A med syfte att undvika torkstress och täcka bevattningsbehovet, B med mindre och fler bevattningsgivor eller – då ingen bevattning simulerades.

Simulering	Väder & klimat	Rot & totalt växttillgängligt vatten	Initial tillgängligt markvatten	Bevattningsstrategi
Torr2rot90B	Torr	2	90	B
Torr2rot90	Torr	2	90	-
Med2rot90B	Med	2	90	B
Med2rot90	Med	2	90	-
Torr1rot90A	Torr	1	90	A
Torr2rot90A	Torr	2	90	A
Torr3rot90A	Torr	3	90	A
Torr2rot50A	Torr	2	50	A
Torr2rot30A	Torr	2	30	A
Med1rot90A	Med	1	90	A
Med2rot90A	Med	2	90	A
Med3rot90A	Med	3	90	A
Med2rot50A	Med	2	50	A
Med2rot30A	Med	2	30	A

2.2.1 Insamling, bearbetning av indata, samt antaganden

Här presenteras samtliga använda parametrar och parametervärden samt använda referenser och vilka antaganden som gjorts. Parametrarna presenteras uppdelat i följande kategorier: klimat och väderparametrar, växtparametrar, markparametrar samt parametrar för bevattningsstrategi.

Klimat- och väderparametrar

Data till beräkningen av ET_0 för platsen inhämtades i form av mätserier från SMHI:s öppna databas (SMHI n.d.). Mätserierna består av kvalitetssäkrade historiska data från närmsta väderstation. Samtliga dataserier hämtades i april 2022 för den valda tidsperioden 2000–2021, undantaget mätserien med solskenstimmar som hämtades för perioden 2008–2021 då data inte fanns att tillgå från tidigare år. De väder- och klimatparametrar som användes presenteras i Tabell 3.

Tabell 3. Klimat och väderparametrar använda för beräkning av ET_0 samt nederbörd, enhet, tidsenhet och plats för använda och erhållna dataserier samt referens. Sala A beläget lat:59.91 lon:16.68, Stockholm sol lat:59.35 lon:18.06.

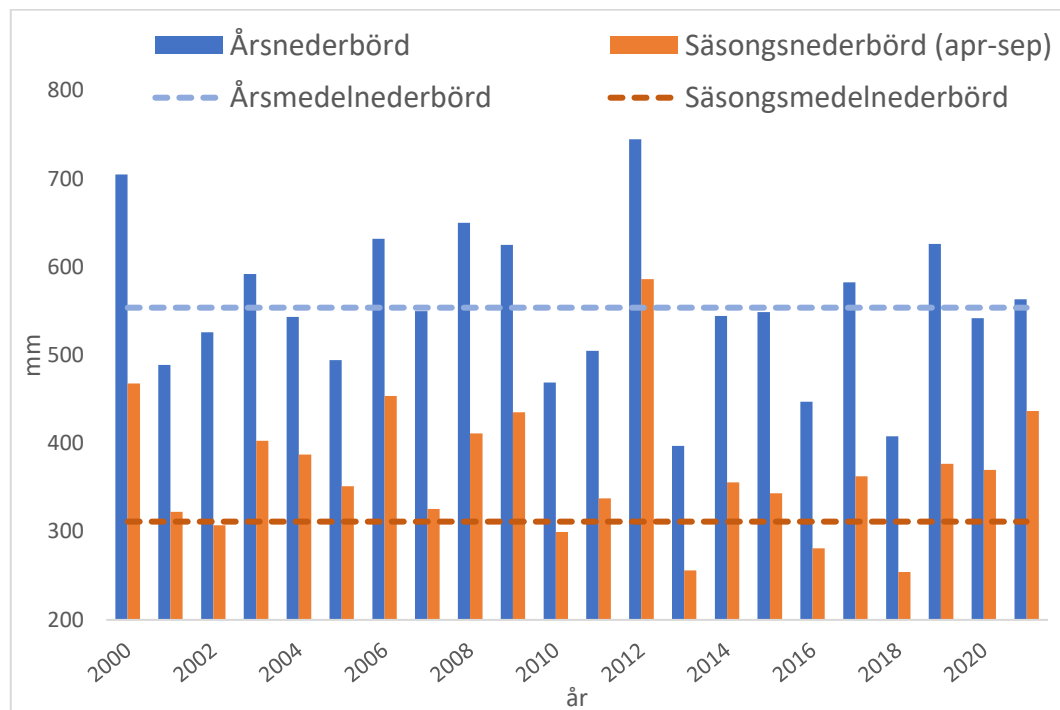
Parametrar	Enhet	Källans tidsintervall för data	Använt tidsintervall för data	Väderstation	Referens:
Lufttemperatur min	°C	daglig	månadsmedel	Sala A	SMHI
Lufttemperatur max	°C	daglig	månadsmedel	Sala A	SMHI
Luftfuktighet	%	timvis	månadsmedel	Sala A	SMHI
Vindhastighet	m/s	timvis	månadsmedel	Sala A	SMHI
Solskenstid	s/h	daglig	månadsmedel	Stockholm sol	SMHI
Nederbörd	mm	daglig	daglig	Sala A	SMHI

Samtliga dataserier, förutom nederbörd, sorterades efter månad och ett dagsmedelvärde per månad beräknades. För nederbördsdata beräknades ett medelvärde för årsnederbörd och säsongsnederbörd under den valda tidsperioden 2000–2021, vilket även visas i Figur 5. Säsongsnederbörd har i detta arbete förenklats till nederbörd under perioden 1 april – 30 september. Perioden valdes baserat på att studiens simuleringar är gjorda för vall.

För att säkerställa att medelvärdet för årsnederbörden som användes i studien inte avviker avsevärt jämfördes det med SMHI:s medelårsnederbörd för innevarande referensperiod (1991–2020). I syfte att välja dagliga nederbördsdata från ett för perioden representativt torrt år samt ett representativt år med medelnederbörd, jämfördes samtliga säongs- och årsnederbörd mot de uträknade medelvärdena (visualiserat i Figur 5). Åren 2013, 2016 samt 2018 identifierades som de torraste åren. Nederbördsdata från 2018 valdes för att representera ett

extremt torrår, baserat på att det var periodens lägsta säsongsnederbörd. Åren 2007 och 2015 identifierades som två år när både säsongs och årsnederbörden låg nära respektive medelvärde. Nederbördsdata från 2015 valdes för att representera ett år med medelnederbörd baserat på att bättre data för sjöns vattenstånd fanns att tillgå för åren efter 2013. Dataserien med daglig nederbörd för dessa två år (2015 och 2018) användes i simuleringarna som typår.

Genom ett test av väderparametrarnas vikt vid beräkning av ET_0 , som beskrivs närmare i avsnitt 2.3, utsågs de klimatparametrarna som påverkade ET_0 beräkningen mest. Nya månadsmedelvärden beräknades för de två parametrar som i testet visade sig påverka ET_0 beräkningen mest, för de två torraste åren (2016, 2018). I övrigt beräknades ET_0 för det hypotetiska torråret på samma sätt som för medelåret.



Figur 5. Års- och säsongsnederbörd i mm per år under perioden 2000–2021. Den blå linjen visar medelnederbörden per år, den orangea linjen visar säsongsmedel. Orangea staplarna visar nederbörden som fallit under växtsäsongen (här förenklat till april-september) blå staplar visar hela årets nederbörd.

Växtparametrar

Baserat på resultatet från intervjuerna gjordes beräkningarna i denna studie för vall. Då vall består av en blandning av flera arter kan den förväntas ha relativt olika egenskaper beroende på blandningens innehåll. Antaganden om växtegenskaper och hur dessa påverkas av svenskt klimat baserades i huvudsak på tidigare forskning då information om vall-blandningen som användes på studieplatsen saknades. Vilka värden som använts och antaganden som gjordes presenteras här

för respektive parameter och sammanfattas i Tabell 4 sida 26. Faktorernas relevans och betydelse i modellen presenterades i bakgrund avsnitt 1.2.3.

Vallen antas i den här studien vara etablerad och växtperiodens start bestäms därmed främst av temperaturen och övriga väderförhållanden. Baserat på SMHI:s för platsen beräknade växtstart för den innevarande referensperiodens (1991–2020) typår, sattes växtstarten till 14:e april i samtliga simuleringar. Datum för första skörd sattes i denna studie till 7 juli samtliga simulerade år vilket baserades på de lokala experternas svar om att skörd vanligtvis tas första delen av juli. Efter första skörden används vallen enbart som bete vilket innebär att resterande period av säsongen inte har något givet skördedatum. Simuleringen av andra växtperioden antogs starta 8 juli och avbröts 29 juli, baserat på att ansökan om uttag av bevattningstvatten endast gäller de tre månaderna maj till juli. Vallen kan antas fortsätta växa även efter detta, men simuleringen avbröts då ingen mer bevattning skulle kunna ske.

Värden för grödkoefficient (K_c) baserades på de K_c -värden för vall i Sverige som används i Grusson et al (2021:S1). Dessa justerades genom att förändra antalet dagar mellan växtstart och skörd till den lokalt kända perioden, värdena och proportioner mellan perioderna K_{c-in} , K_{c-dev} , K_{c-mid} och K_{c-end} behölls. Grödans höjd sattes till 0,3 m efter jämförelse med likartade växtsorter i likartade klimat i FAO56s referenstabell (Allen et al. 1998:12).

Kritisk vattenbrist antogs baserat på Berglund et al. (2002) och Linnér (2003) inträffa när 50-55% av det totalt växttillgängliga vattnet evapotranspirerat. Gränsen för kritisk vattenbrist sattes till 55% av det totalt växttillgängliga vattnet. På grund av avsaknad av lokala skördedata fanns ingen känd skörderesponsfaktor. Denna faktor sattes till 1 i alla stadier i alla simuleringar. Dock användes inte några resultat kopplade till skörderespons.

Grödans rotdjup beror både på växtens och markens egenskaper. Då vallen antogs vara etablerad och inte nysådd antogs det initiala rotdjupet vara det samma som rotdjupet under växtperioden. I brist på data för såväl rotdjup som markstruktur angavs endast antagna värden för parametern totalt växttillgängligt vatten (TAM) i fliken för markegenskaper. Detta då TAM beror av både rotdjup och markens egenskaper. I modellens fält för rotdjup på fliken för växtegenskaper sattes rotdjupet i alla scenarion till en (1) meter.

Markparametrar

Marktexturen för samtliga åkrar i studien beskrevs som mullhaltig mellanlera med en mullhalt mellan 5–10% och en lerhalt mellan 30–40%. Detta baserades på en markkartering för de åkrar Gårdsjö gård brukar runt Vansjön. Efter en jämförelse av SGU:s jordkarta (SGU n.d.) och markanvändning i lantmäteriets fastighetskarta (visas i Figur 1) antogs även resterande åkrar runt Vansjön ha likartade förhållanden. Närmare data på jordstruktur och jordprofiler fanns ej att tillgå.

Parametervärden för markparametrarna antogs baserat på befintliga data, lokal kunskap och tidigare forskning. I Tabell 5 presenteras använda parametrar och parametervärden samt referenser för samtliga scenarion.

Totalt växttillgängligt vatten antogs baserat på tidigare studier, den ovan beskrivna marktexturen och vall som gröda. I de scenarion som eftersträvar att efterlikna verkliga förhållanden (2rot) sattes TAM till 140 mm baserat på Berglund et al. (2002:36) för vall på mellanlera utan rotspärr. I de scenarion som användes för jämförelse mellan olika simulerade rotdjup, valdes ett lägre (1rot) respektive högre (3rot) värde för TAM. För 1rot simuleringar sattes TAM till 74 mm baserat på Berglund et al. (2002:36) för vall på mellanlera med rotspärr. För 3rot simuleringar sattes TAM till 190 mm baserat på Grusson et al. (2021:3) mellanlera.

Initialt tillgängligt vatten angivet i procent av totalt växttillgängligt vatten sattes vid växtstart till 90% baserat på tidigare forskning av Grusson et al. (2021). I de scenarion som syftade till att testa modellens känslighet för initialt vattenunderskott användes i stället 50% (2rot50) respektive 30% (2rot30). Efter simulering av första skörden lästes det slutgiltiga vattenunderskottet i procent av för att användas som initialt tillgängligt vatten i simuleringen för andra växtperioden.

Ingen betydelsefull rotspärr antogs förekomma. Det maximalt möjliga rotdjupet sattes till två (2) meter i samtliga scenarion, med undantag för de scenarion namngivna 1rot där känsligheten för korta rötter testades. I dessa scenarion sattes maximalt möjligt rotdjup till en (1) meter. Dessa värden bör dock inte ha påverkat studiens resultat.

Tabell 4 Växtparametrar och parametervärden använda till samtliga utförda simuleringar. Där TAM står för totalt växttillgängligt vatten, in står för initialt, dev för utveckling, mid för mellan och end för slut. Växtperiod 1 sträcker sig från 14 april till skörd 7 juli, växtperiod 2 påbörjades 8 juli och avbröts 29 juli.
* simuleringen avbröts inom perioden.

Växtparametrar

Delsimulering	Kritisk vattenbrist % av TAM ¹	Höjd på grödan (m)	Rotdjup (m) ²	Grödkoefficient, Kc ³						
				in	(dagar)	dev (dagar)	mid	(dagar)	end	(dagar)
Växtperiod 1	0,55	0,3	1	0,4	1	30	1,2	52	0,4	2
Växtperiod 2	0,55	0,3	1	0,4	4	20*	1,2	-	0,4	-

¹ Berglund et al (2002), Linnér (2003)

² Allen et al. (1998:12)

³ Grusson et al (2021), kc endast utvecklingsstadiernas värden och proportioner, stadiernas längd anpassades efter lokala förhållanden

Tabell 5 Markparametrar och använda parametervärden till utförda simuleringar.

Markparametrar

Simulering	Fältkapacitet (mm) ¹	Vissningsgräns (mm) ¹	Totalt växttillgängligt vatten, TAM (mm)	Initialt markvatten (% av TAM) ³
1rot90A	390	240	74 ²	90 ³
2rot90A	390	240	140 ²	90 ³
2rot90B	390	240	140 ²	90 ³
3rot90A	390	240	190 ³	90 ³
2rot50A	390	240	140 ²	50
2rot30A	390	240	190 ³	30

¹Eriksson (2011) baserat på mellanlera med 30–40% ler, 5–10% mull

²Berglund (2002) Baserat på mellanlera med respektive utan rotspärr

³Grusson et al (2021)

Bevattningsstrategier

Två olika bevattningsstrategier användes vid de olika simuleringarna, de kallas här för strategi A respektive B. För strategi A valdes inställningar för att undvika torkstress och täcka grödans vattenbehov. Efter att ha simulerat scenarion med bevattningsstrategi A identifierades det att detta gav för stora bevattningsgivor, varför bevattningsstrategi B togs fram. Inställningarna i strategi B valdes för att efterlikna befintliga bevattningsrekommendationer som beskrivits i 1.2 bakgrund. Inställningar för strategi B testades fram med målet att hålla nere antalet bevattningstillfällen samt att enstaka givor inte fick överstiga intervallet 30–50 mm/tillfälle som rekommenderas av Linnér (2003) för mullhaltig lätt till styv lera. Inställningarna justerades också för att undvika bevattning upp till fältkapacitet. Utöver bevattningsstrategi A och B simulerades de två scenarion som eftersträvade att representera verkliga förhållanden (Med2rot90 och Torr2rot90) även utan bevattning.

I Cropwat 8.0 finns inställningar för bevattningstidpunkt, dessa sattes till *Bevattna under eller över kritisk vattenbrist* och *Bevattna vid X % av kritisk vattenbrist*. Den kritiska vattenbristen var satt till 55% av TAM, X ändrades i de olika bevattningsstrategierna, se Tabell 6. I Cropwat 8.0 finns även inställningar som bestämmer mängden bevattning som tillförs, dessa sattes till *Fyll marken över/under fältkapaciteten* och *Återfyll markens vattenhalt till Y % av fältkapaciteten*. Där Y justerades mellan de olika bevattningsstrategierna, se Tabell 6.

Tabell 6 Bevattningsstrategier använda i simulering av bevattningsbehov, där TAM står för totalt växttillgängligt vatten och F_c för fältkapacitet.

Simulering	Bevattna vid X % av kritisk	
	vattenbrist (%)	Bevattningsstopp (% av F_c)
A	80%	100%
B	50%	85%

2.3 Jämförelse av simuleringar och kontroll av data

För att säkerställa att indata och resultat var rimliga i förhållande till tidigare forskning jämfördes dessa med källor som presenterats i bakgrunden. Det gjordes även jämförelser av resultat för simuleringar där enskilda parametrar ändrats på delar av modellen där indata bedömdes vara mest osäker. Här presenteras vilka jämförelser som genomfördes samt hur.

Kontroll av indata till beräkningen av ET_0 gjordes genom att jämföra de uträknade genomsnittsvärdena mot SMHI:s normalvärden för innevarande referensår. Ett test gjordes för att bättre förstå modellens och enskilda

väderparametrars vikt vid ett ökat ET_0 . Detta gjordes genom att enskilt förändra respektive parameters indata med 50%, för att sedan jämföra med den procentuella effekten detta gav på det beräknade ET_0 . Temperaturen, vindhastigheten och solskenstiden ökades, luftfuktigheten minskades.

I syfte att undersöka hur modellens resultat påverkades av variation i totalt tillgängligt markvatten gjordes och jämfördes tre (3) simuleringar för vardera typår. I detta syfte simulerades för respektive typår, utöver scenariot som eftersträvar att representera verkliga förhållanden (2rot90), också en simulering med ett lägre värde (1rot90) och en med ett högre värde (3rot90) för TAM. Inga andra parametrar ändrades i dessa scenarion, se även beskrivning av dessa scenarion under *markparametrar* i avsnitt 2.2.1.

I syfte att undersöka hur modellens resultat påverkades av variation i andelen initialt tillgängligt vatten genomfördes och jämfördes tre (3) simuleringar för vardera typår. Därför simulerades för respektive typår, förutom scenariot som eftersträvar att representera verkliga förhållanden (2rot90), också två olika simuleringar med lägre andel initialt tillgängligt vatten. Inga andra parametrar ändrades i dessa scenarion, se även beskrivning av dessa scenarion under *markparametrar* i avsnitt 2.2.1.

I syfte att undersöka hur mycket modellens resultat påverkades av de ändringarna i bevattningsstrategin som gjordes mellan strategi A och B jämfördes scenario 2rot90A och 2rot90B för torråret och medelåret. De använda inställningar finns beskrivna under *bevattningsstrategier* i avsnitt 2.2.1.

I brist på möjlighet att kalibrera och validera modellen jämfördes resultaten från simuleringarna som eftersträvar att representera verkliga förhållanden mot tidigare forskning och SMHI:s data samt befintliga bevattningsrekommendationer. Litteratur och rekommendationer som användes i jämförelsen finns presenterat under bakgrund. Detta gjordes i syfte att identifiera huruvida resultaten kan anses vara rimliga för de givna förhållandena. Tillsammans med jämförelsen mellan studiens simuleringar och osäkerheten i respektive indata användes jämförelsen med litteratur och rekommendationer för att identifiera hur känslig modellen var för gjorda antaganden.

3. Resultat

I detta avsnitt presenteras arbetets resultat. Till att börja med presenteras en sammanfattning av intervju svaren. I efterföljande avsnitt visas modelleringsresultat från Cropwat 8.0 för potentiella evapotranspirationen och bevattningsbehovet i olika scenarion. Därpå presenteras hur dessa bevattningsbehov förhåller sig till det ansökta bevattningsuttaget. Avslutningsvis presenteras resultatet från den jämförelsen mellan olika simuleringsresultat.

3.1 Intervjuer

Resultatet av intervjuer och övrig korrespondens med föreningens kontaktpersoner tillika lokala experter redovisas här i en sammanfattande text. Svaren har delats upp i två kategorier, dels svaren som beskrev hur platsen och verksamheterna ser ut idag, dels de svar som beskrev föreningen och lantbrukarnas syn på framtida bevattning. Slutligen beskrivs övriga för studien relevanta upplysningar som framkom under intervjun och i övrig korrespondens.

De två lokala experterna som själva bedriver lantbruk i området beskrev den nuvarande lantbruksdriften. Totalt finns det 6–10 mindre lantbruk, varav ett vid tillfället låg i träda till följd av pension. Den största lantbruksverksamheten, Gårdsjö gård med 103 ha (varav 68 ha nära sjön), odlar främst spannmål men även vall till utsäde. Resterande lantbrukare odlar nästan uteslutande vall till foder samt bete. Den totala arealen jordbruksmark med närhet till sjön uppskattades av de lokala experterna till ca 300 ha, varav ca 200 ha uppskattades användas till vallodling.

Vallen skördas normalt sett under första delen av juli för att sedan använda återväxten av vall till bete för kor och får. Statistik över skördenivåerna för vallen fanns inte att tillgå. Det uppgavs att marken innehöll relativt hög halt ler. Noggrannare information om marktexturen erhöles senare via epost i form av Gårdsjö's senaste markkartering.

De lokala experterna beskrev att intresset för att undersöka förutsättningar för bevattning hängde ihop med konsekvenserna av torkan 2018 och med de befintliga planerna på att bygga en reglering vid sjöns utlopp. Vidare beskrev de att bevattning främst ses som en möjlighet för lantbrukarna att öka sin motståndskraft mot torka under växtsäsongen. På så sätt vill de kunna säkra foder till djuren och därigenom bidra till en säker livsmedelsförsörjning.

Det poängterades att huvudsyfte med att bygga en fördämning dock är naturvård och ökad vattenkvalitet, varför den potentiella bevattningen enbart är av intresse för föreningen om fördämning godkänns och blir av. Dels förväntade de sig inte att få tillstånd för vattenuttag om de inte får tillstånd att bygga någon av de ansökta versionerna på fördämning. Dels berättade de om lågflödesår som de erfarit då vattennivån varit så låg under sommaren att det inte skulle vara möjligt att göra vattenuttag. Kontaktpersonerna tydliggjorde också att det bara är vallen som skulle vara av intresse att bevattna. Spannmålet anses inte intressant att bevattna främst av ekonomiska skäl. Lantbrukarna var inte heller intresserade av att bevattna allt för långt bort från sjön då större pumpanläggningar och vattenledningar antas bli för kostsamt.

Den lokala experten med ansvar för föreningens arkiv berättade även mer om vilka tidigare undersökningar som gjorts, samt vidarebefordrade rapporter och den dokumentation som fanns att tillgå. Dessutom förmedlades kontakten till en av konsulterna som gjort beräkningar på sjöns vattenbalans med och utan bygge av fördämning. Kontakten användes för att erhålla modellen av Vansjöns vattenbalans med och utan fördämning samt förklaring av densamma. Den önskade mängden vattenuttag för bevattning som ansöktes om inom restaureringsprojektet var 120 000 m³ per säsong, fördelat över maj till juli. Vid tillfället kände de lokala experterna inte till några befintliga vattenuttag ur sjön som var stora nog att ha betydelse.

3.2 Evapotranspiration och bevattningsbehov

ET₀ och potentiellt nederbördsunderskott

Resultatet för beräkningen av ET₀ för studiens medelår och torrår visas per månad, i Figur 6 tillsammans med nederbördsdata som använts för respektive typår samt nederbördsunderskottet beräknat som skillnaden mellan dessa. Notera att detta underskott är beräknat med ET₀, det faktiska underskottet och bevattningsbehov för respektive scenario presenteras i nästa avsnitt.

Den potentiella evapotranspirationen ett medelår beräknades vara 2,71 mm/dag som genomsnitt under växtsäsongen (här förenklad till apr – sep). Som högst var månadsgenomsnittet 3,64 mm/dag i juni och juli. Den potentiella evapotranspirationen för det typiska torråret beräknades vara 2,93 mm/dag som genomsnitt över växtsäsongen. Här var den som högst i juli då den var 4,06 mm/dag.

Summan av evapotranspirationen under normalårets växtsäsong var 497 mm, motsvarande summa för torråret var 538 mm. Sett till växtsäsongen hade medelåret ett potentiellt nederbördsunderskott på 156 mm medan torråret hade ett potentiellt nederbördsunderskott på 260 mm. För medelåret (Figur 6a) var underskottet som

störst i april och augusti. Medan ett visst nederbördsöverskott förekom i september. För torråret (Figur 6b) var det potentiella nederbördsunderskottet stort hela växtsäsongen men särskilt juni och juli.

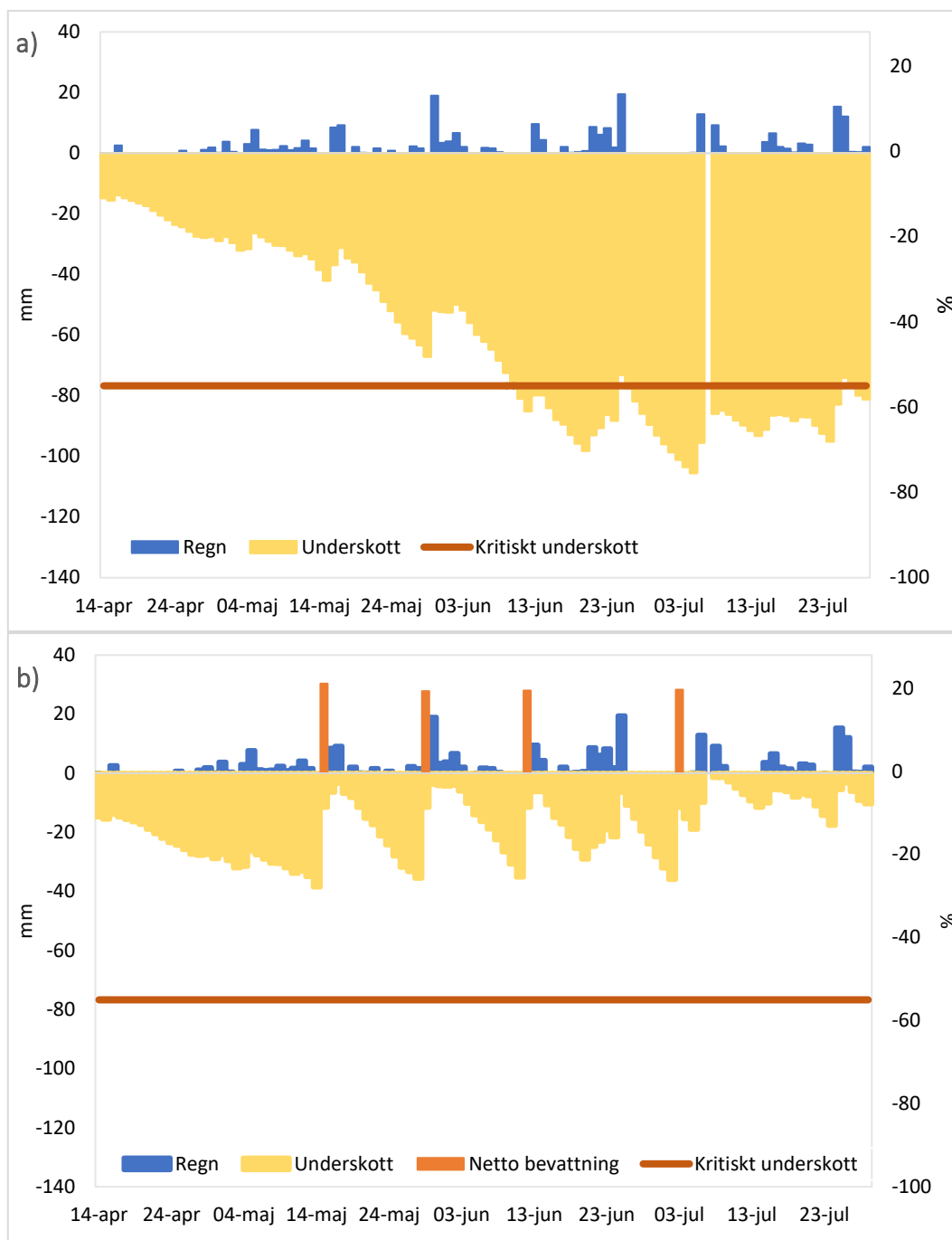


Figur 6. Beräknad ET_0 och använd nederbördsdata samlad per månad för a) medelåret b) torråret. Potentiellt nederbördsunderskott respektive överskott beräknat som skillnaden mellan ET_0 och nederbörd. Beräkningarna av ET_0 beskrivs närmare i avsnitt 1.2.1.

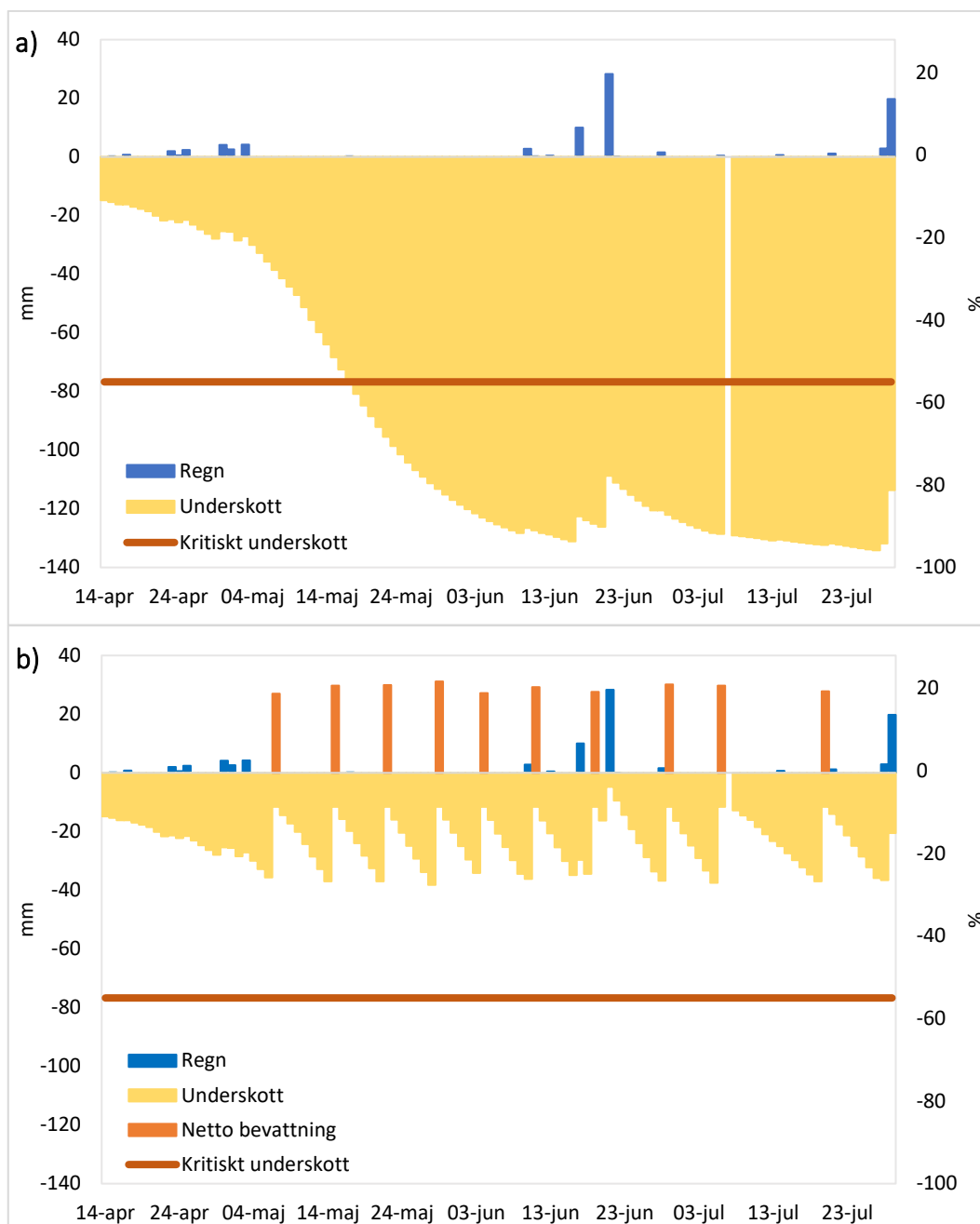
Bevattningsbehov i millimeter per dag

I figur 7 visas det beräknade vattenunderskottet för scenario 2rot90B för torrår, a) utan bevattning och b) med bevattning i mm från 14 april till 29 juli. Figur 8 visar motsvarande resultat för scenario 2rot90B under medelåret. Bevattningsbehovet för övriga scenarion som användes för jämförelser av simuleringar är sammanställda per säsong i Tabell 7 och Figur 9. Det ackumulerade vattenunderskottet för scenario

2rot90B torrår var 114 mm vilket motsvarar 81 % av markens totalt växttillgängliga vatten, medan det ackumulerade vattenunderskottet i motsvarande scenario för medelår var 80 mm och 57 % av det totalt växttillgängliga vattnet. Utan bevattning beräknas torkstress, det vill säga vattenunderskottet större än 55 % av totalt växttillgängligt vatten, ha uppstått första gången den 16 maj under torråret medan motsvarande datum var 10 juni under medelåret. Den sammanlagda reduktionen av ET_c till följd av torkstress under säsongen var 72 % för torråret och 16 % för medelåret.



Figur 7 Vattenunderskott, bevattningsbehov för medelår i mm/dag. I gult visas det ackumulerade vattenunderskottet i mm, i blått visas nederbörd per dygn och i orange visas nettobevattning av grödan, exklusive effektivitetsförluster av vatten. a) visar vattenunderskottet för medelåret utan bevattning beräknat enligt scenariot som eftersträvar att representera verkliga förhållanden (Med2rot90). b) Bevattningsbehovet för samma scenario.



Figur 8 Vattenunderskott, bevattningsbehov för torrår i mm/dag. I gult visas det ackumulerade vattenunderskottet i mm, i blått visas nederbörd per dygn och i orange visas nettobevattning av grödan, exklusive effektivitetsförluster av vatten. a) visar vattenunderskottet för torråret utan bevattning beräknat enligt scenariot som eftersträvar att representera verkliga förhållanden (Torr2rot90). b) Bevattningsbehovet för samma scenario.

Totalt bevattningsbehov

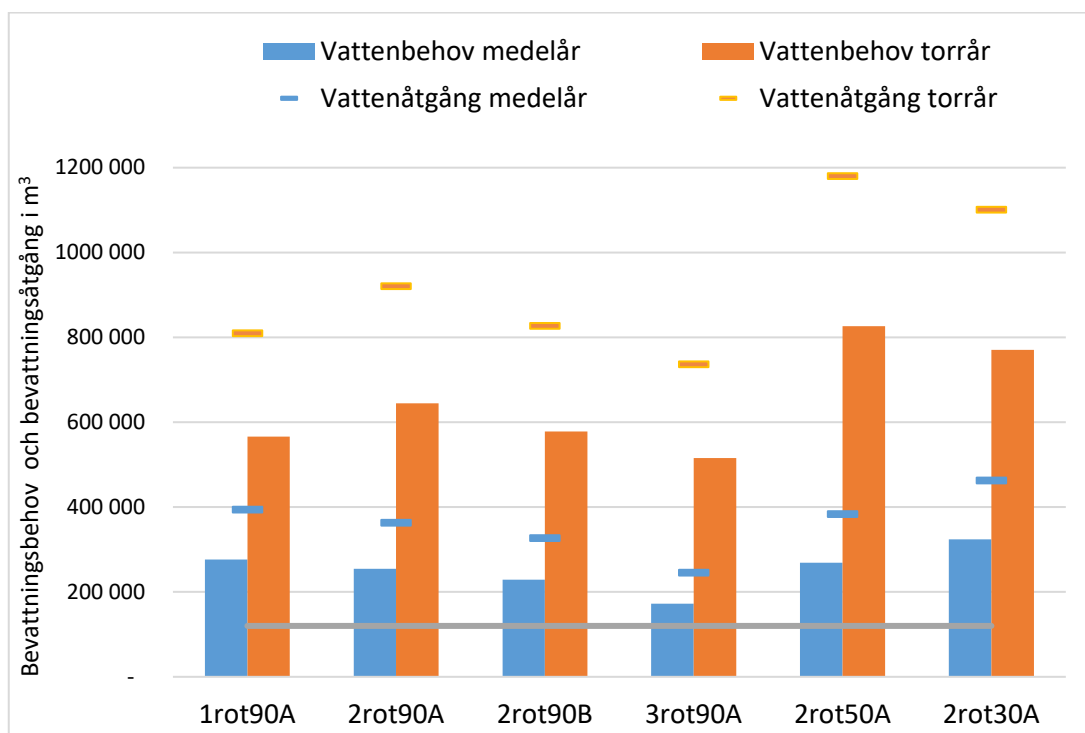
Det totala bevattningsbehovet för vall under en växtsäsong angivet i mm presenteras för samtliga scenarion i Tabell 7. Vid jämförelse av dessa värden bör det dock beaktas att sista bevattningsgivan, som följd av tidigare beskrivna bevattningsstrategier, inte ges samma dag för de olika scenarierna. För att öka jämförbarheten presenteras även underskottet av växttillgängligt vatten då bevattningen avbröts.

Det sammanlagda bevattningsbehovet för all vall (200ha), angivet i kubikmeter per säsong presenteras för samtliga fem scenarion för ett medelår respektive ett torrår i Figur 9. För medelåret var bevattningsbehovet för scenario 2rot90B 229 000 m³ medan bevattningsbehovet för torråret scenario 2rot90B var 578 600 m³. Resultaten för de andra simulerade scenariona varierade stort. För medelåret simulerades bevattningsbehovet till mellan 172 000–324 000 m³ medan bevattningsbehovet för torråret varierade mellan 535 800–826 200 m³. I Figur 9 visas även den beräknade vattenåtgången vid ett antagande om ett bevattningssystem med 70 % effektivitet. Den ansökta volymen för bevattningsuttag om 120 000 m³ per säsong (40 000 m³ per månad maj till juli) visas som referens i samma figur. Om det istället fördelades jämnt över de 200 ha som vallen odlas på skulle det innebära ett tillskott på 60 mm över hela ytan för hela säsongen.

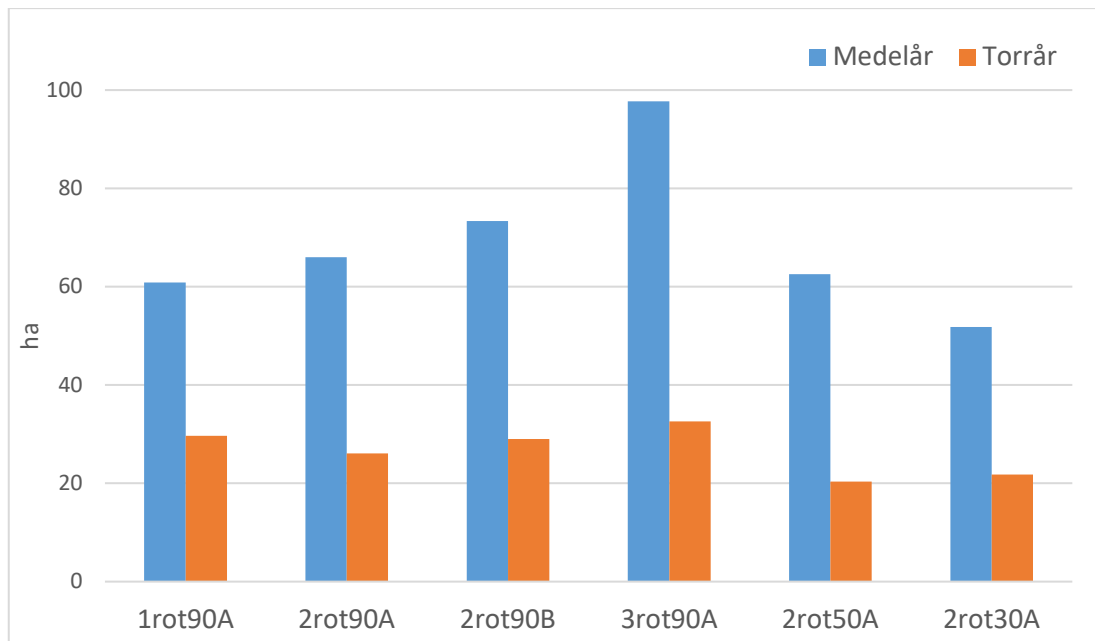
Figur 10 visar hur många hektar som är möjligt att bevattna enligt bevattningsstrategierna som använts i simuleringarna i de olika scenarierna med de 120 000 m³ som föreningen ansökt tillstånd om. Ytan varierade mellan 52–98 ha för medelåret medan torråret varierade mellan 20–33 ha.

Tabell 7. Totalt bevattningsbehov angivet i mm, samt underskottet av växttillgängligt vatten vid sista möjliga bevattningsdag, angivet i mm. I tabellens övre del presenteras de simuleringar som eftersträvar att vara representativa för de verkliga förhållandena, i tabellens nedre del presenteras de simuleringar som använts för att jämföra hur känslig modellen är för olika parametrar.

Scenario	Bevattningsbehov medelår	Underskott sista bevattningsdag	Bevattningsbehov torrår	Underskott sista bevattningsdag
2rot90B	115	10	289	21
1rot90A	138	10	283	16
2rot90A	127	10	322	4
3rot90A	86	28	258	54
2rot50A	134	29	385	4
2rot30A	162	29	413	4



Figur 9 Simulerat bevattningsbehov och vattenåtgång i m³ för 200ha en säsong. Visas för samtliga scenarion där medelår visas i blått och torrår i orange. Vattningensåtgången gäller för ett bevattningssystem med 70% bevattningseffektivitet. Den grå linjen visar storleken på det ansökta bevattningsuttaget. Där scenario 2rot90B eftersträvar att vara representativt för verkliga förhållanden.



Figur 10. Antalet hektar som kan bevattnas med det ansökta bevattningsuttaget. Beräknat med 70% bevattningseffektivitet. Där scenario 2rot90B eftersträvar att vara representativt för verkliga förhållanden.

3.3 Jämförelse mellan simuleringar för beräkning av bevattningsbehov

Test av väderparametrars vikt vid beräkning av ett höger ET_0

Tabell 8 visar ingående parametrars vikt vid beräkning av ET_0 presenterat i millimeter per dag och procentuell förändring av beräknat ET_0 . Detta efter att enskilt förändrat parametrarnas indata med 50 %. Det visade sig att ökning av temperaturen och minskning av luftfuktigheten hade procentuellt störst påverkan på ET_0 . Denna information användes vid konstruktion av torrårets ET_0 som beskrivs närmare i 2.2.1.

Tabell 8 Visar förändringar i ET_0 -beräkningen om ingående klimat och väderparametrar var för sig ökats eller minskats med 50%. Ökning av ingående parametervärden illustreras med plustecken och minskning med minustecken.

		Förändring av ET_0	
Parameter		i %	Förändring i mm/dag
Temperatur	+	30%	0,46
Luftfuktighet	–	55%	0,84
Vindhastighet	+	7%	0,11
Solskenstid	+	12%	0,18

Jämförelse av simuleringar med olika mängd totalt tillgängligt markvatten

För att undersöka hur modellens resultat påverkades av variation i totalt tillgängligt markvatten användes tre (3) simuleringar för vardera typ år, simuleringresultaten för dessa ses i Figur 9, se 1rot90, 2rot90 respektive 3rot90. Resultaten för bevattningsbehovet varierade mellan 515 800 m³ – 644 400 m³ för torrår, där medelroten (2rot90) hade det högsta bevattningsbehovet. För medelåret varierade bevattningsbehovet mellan 172 000 m³ – 276 200 m³ där den grundaste roten (1rot90) hade det största bevattningsbehovet vilket också visas i Figur 9.

Jämförelse av simuleringar med olika mängd initialt tillgängligt vatten

För att undersöka hur modellens resultat påverkades av variation i initialt tillgängligt markvatten användes tre (3) simuleringar för vardera typår, simuleringresultaten för dessa ses i Figur 9, se 2rot90, 2rot50 och 2rot30. Resultaten för bevattningsbehovet varierade mellan 644 400–826 200 m³ för torrår, där den största initiala markfuktigheten (2rot90) gav det lägsta bevattningsbehovet medan medel initiala markfuktigheten (2rot50) gav det största bevattningsbehovet. Bevattningsbehovet för medelåret varierade mellan 254 600–324 000 m³, där den initialt största markfuktigheten gav det lägsta bevattningsbehovet och den lägsta initiala markfukten gav det högsta bevattningsbehovet.

Jämförelse av bevattningsstrategier

I syfte att undersöka hur mycket modellens resultat påverkades av skillnaden mellan bevattningsstrategi A och B användes fyra (4) scenarion två (2) för vardera typår. Där bevattningsstrategi A innebär större och färre givor och bevattningsstrategi B är den som justerats för att efterlikna gällande rekommendationer och innebär fler givor men mindre givor. Bevattningsmetod B gav ca 10% lägre bevattningsbehov än bevattningsmetod A för både torråret och medelåret.

4. Diskussion

Syftet med studien var att undersöka möjligheten att på ett hållbart sätt göra bevattningsuttag ur Vansjön av tillräcklig storlek för att öka lantbrukarnas motståndskraft vid torka. Detta gjordes genom att besvara forskningsfrågorna: Hur stort är bevattningsbehovet för lantbruken belägna runt Vansjön under medelår, respektive torra år, med utgångspunkt i hur marken brukas idag? Samt, är det ansökta bevattningsuttaget tillräckligt för att öka lantbrukarnas motståndskraft vid torka?

4.1 Hur stort var bevattningsbehovet?

Det potentiella nederbördsunderskottet (dvs. nederbörd – ET_0) under växt säsongen för de två använda typåren beräknades till 156 mm för medelåret och 260 mm för torråret. I brist på information om den normala variationen i nederbördsunderskott för platsen görs en jämförelse med nationella värden. Resultatet för medelåret kan anses ligga inom ramen för det förväntade intervallet om 50–200 mm nederbördsunderskott för en normal växtsäsong i Sverige (Linnér 2003; Jordbruksverket et al. 2007). Torrårets resultat ligger utanför detta intervall men kan anses rimligt då simuleringen utformades för att representera ett extremt torrår.

Medelårets simuleringsresultat för scenariot som eftersträvar att representera verkliga förhållanden (2rot90B) visade på ett bevattningsbehov om 115 mm för vall odlad runt Vansjön under en säsong. Resultatet för simuleringen av scenariot som eftersträvar att representera verkliga förhållanden för torråret visade att vallen under ett extremt torrt år kan ha ett bevattningsbehov om 289 mm under en säsong. Detta kan jämföras med en tidigare studies beräkningar av bevattningsbehov för vall under torra år i perioden 1991–2016 gjorda för Skåne, Östergötland och Gotland där behovet beräknades till mellan 200–225 mm (Jordbruksverket et al. 2018:5). Denna jämförelse tyder på att innevarande studies resultat för bevattningsbehov under torråret kan vara något överskattat. Att bevattningsbehovet för torråret beräknades vara relativt högt kan dock delvis förklaras med att behovet beräknades baserat på periodens torraste år, medan beräkningarna i Jordbruksverkets rapport gjordes för ett torrt men inte det torraste året. En annan faktor som förmodligen påverkat resultatet är den förenklade bevattningsstrategin med relativt stora givor i

en modern kontext, som använts i simuleringarna. För att bevattna all vall (ca 200 ha) där hela ovan nämnda behov täcks skulle det krävas 229 000 m³ under medelåret respektive 578 600 m³ under torråret, vilket är 1,9 respektive 4,8 gånger så mycket som det ansökta bevattningsuttaget. Detta, exklusive eventuella vattenförluster i bevattningssystemet. En begränsning i denna studie är att växtens hela bevattningsbehov eftersträvades att täckas. Vanligare är att endast eftersträva att undvika torkstress.

4.2 Studien i ett kritiskt perspektiv

4.2.1 Konsekvenser av metodval

I denna studie användes ett mjukvaruprogram vars beräkningar baseras på indata i form av medelvärden per månad för samtliga väderparametrar med undantag för nederbörden. Nederbörden angavs per dag och baserades på uppmätt data. Modellen simulerar dock vattenbalans och bevattningsbehov per dag. Med målet att uppskatta ett spann mellan ett troligt högsta bevattningsbehov och ett medelårs behov relevant för platsen och perioden, samt begränsat av arbetets omfattning i tid, valdes en metod där två typår konstruerades baserat på medelvärden. Att beräkningar gjordes baserat på medelvärden medför dock en mindre exakthet i resultaten än vad en beräkning med uppmätta data hade medfört. En alternativ metod hade kunnat vara att simulera flera för perioden representativa år eller en hel period baserat på uppmätt data för att sedan beräkna ett medelbehov samt dess typiska variation. Det skulle gett ett resultat som representerar verkligheten bättre men hade krävt fler simuleringar och ett annat program. Nederbörd baserades däremot inte på medelvärde utan på mätta data från ett representativt år per typår. Detta motiverades med att ett realistiskt nederbördsmönster då bibehålls, vilket är svårt vid sammanslagning eller medelvärde av flera år. Det är dock värt att notera att nederbördens distribution över en säsong kan skilja sig mycket trots att den totala nederbörden är den samma, en variation som hade fångats bättre av fler simuleringar.

Vid en jämförelse av det beräknade bevattningsbehovet för samtliga simulerade scenarion är resultaten för de olika rotdjupen under torråret något förvånande. Ett förväntat resultat hade varit att scenariot med mins totalt växttillgängligt vatten (1rot90A) skulle resultera i det största bevattningsbehovet medan scenariot med mest totalt växttillgängligt vatten (3rot90A) förväntades ha det minsta behovet. Det är därför något förvånande att mellan scenariot (2rot90A) av dessa tre scenarion för torråret hade det största bevattningsbehovet. Det visar sig vara svårt att förklara detta resultat, men en möjlig felkälla i jämförelsen mellan de olika simuleringarnas bevattningsbehov kan vara att både tillfället och storleken på sista bevattningsgivan skiljer sig. Detta beroende på vilka parametervärden som använts för

bevattningsstrategi, nederbörd och det totala växttillgängliga vattnet i respektive scenario. Dessa parametrar skiljer sig eftersom bevattningsstrategierna definierades som att bevattning startas när en viss procentandel av TAM avdunstat och avslutas när en viss procentandel av F_c uppnåtts. Detta betyder att bevattningsgivornas storlek varierade mellan scenarier med olika bevattningsstrategier eller olika TAM. Det betyder också att intervallet mellan bevattningstillfällena påverkats av faktorer som evapotranspiration, nederbörd och TAM. Vilket leder till att underskottet av växttillgängligt vatten den sista möjliga bevattningsdagen skiljer sig mellan de olika simuleringarna (se Tabell 7). Ett annat val av sista bevattningsdag skulle därför kunna leda till en betydande skillnad vad gäller resultatet för de totala bevattningsbehoven. Exempelvis om sista bevattningsdag varit några dagar senare i scenario 3rot90 för torråret hade troligen en till bevattningsgiva tillkommit. Medan bevattningsbehovet för scenariot 2rot90 med ett underskott om endast 4 mm inte skulle öka om sista bevattningsdag flyttades fram några dagar.

En annan faktor som kan antas ha påverkat resultatet för det totala bevattningsbehovet är valet av bevattningsstrategi och storlekarna på bevattningsgivor. Bevattningsgivorna i simuleringarna anpassades för att inte överskrida de av Linnér (2003) rekommenderade bevattningsgivorna för de givna markförhållandena. Mycket har emellertid hänt vad det gäller teknikutveckling sedan 2003 och dessa givor kan anses vara stora i en modern kontext där nya bevattningsmetoder med hög vattneffektivitet finns att tillgå. I den innevarande studiens jämförelse mellan simulerade bevattningsstrategier visades att strategi B som innebar fler och mindre givor för båda typåren gav ca 10% mindre totalt bevattningsbehov än strategi A med färre och större givor. Vilket indikerar att en strategi med ännu mindre givor vid fler tillfällen skulle kunna leda till ett något mindre bevattningsbehov.

En parameter som påverkar den verkliga avdunstningen är K_c . Värdet för K_{c-end} som användes i denna studie var 0,4 vilket är värdet efter skörd. Om man i stället använt maxvärdet 1,2 så hade avdunstningen under slutdelen av växtperioden varit högre. Slutdelen av växtperioden är dock mycket kort proportionerligt mot de andra delarna av växtperioden, vilket betyder att påverkan K_{c-end} har på den totala avdunstningen troligen är mycket låg.

4.2.2 Resultatets osäkerhet

Jämförelser mellan de simuleringar som genomförts inom denna studie gjordes för att undersöka hur modellen reagerar på ändring av identifierat osäkra parametrar. Detta kan i kombination med kännedom om parametrarnas variation och osäkerhet i indata användas för att bedöma osäkerhet i resultatet samt identifiera de viktigaste förbättringsområdena. Variationen mellan simuleringsresultaten var stora inom både jämförelsen mellan olika värden för totalt växttillgängligt vatten och initialt tillgängligt vatten. Detta tyder på att ändring i dessa parametrar påverkar

simuleringsresultaten i stor utsträckning. För torråret var variationen mellan simuleringarnas resultat större än det ansökta bevattningsuttaget. Dessutom kan de parametervärden som användes för totalt växttillgängligt vatten anses vara osäkra, då mätta värden inte fanns att tillgå utan uppskattades baserat på litteratur och generell kunskap om marktexturen. Det totala växttillgängliga vattnet beräknas dels baserat på rotdjup och markens vattenhållande förmåga. Dessa faktorer har även i tidigare studier visats vara viktiga att ha god kunskap om för att nå ett gott resultat av bevattning (Linnér 2003; Jordbruksverket et al. 2018).

Sammanlagt orsakar ovan nämnda felkällor och osäkerheten av känsliga parametrar en stor osäkerhet vad gäller resultatet för simuleringarna som eftersträvade att representera verkligheten (2rot90B). Dessa resultat kräver därför en försiktig tolkning och bör inte generaliseras. Det är däremot inte troligt att bevattningsbehovet skulle överstiga studiens högst beräknade bevattningsbehov under den period som bevattningsuttag ur sjön ansökts för (1 maj – 31 juli). Detta då ett extremt torrt år simulerats och de känsliga markparametrarna testades för relativt extrema värden i de jämförda simuleringarna där enskilda parametrar ändrades. Om man på samma plats inför ett mer intensivt odlingssystem där fler skördar tas, vilket är vanligt i Uppland, skulle man dock kunna förvänta sig ett större bevattningsbehov än vad som simulerats i denna studie.

Sammanfattningsvis skulle osäkerheten kunna minskas på två huvudsakliga sätt. Dels genom mätningar och bättre kunskap om parametrar som påverkar den totala mängden växttillgängligt vatten. Dels genom simulering av flera år med uppmätta värden för väderparametrarna.

4.3 Kan motståndskraften vid torka öka?

Den andra frågeställningen var: Är det ansökta bevattningsuttaget tillräckligt för att öka lantbrukarnas motståndskraft vid torka? Med tanke på ovan diskuterade osäkerheter i simuleringsresultaten har det visat sig svårt att med säkerhet besvara denna frågeställning. Trots resultatens osäkerhet så tyder de på att ett betydande bevattningsbehov kan finnas under torrare år, då underskottet av vatten beräknades bli kritiskt och orsaka skördeförluster för vallen under båda de simulerade typåren. Att vall på mark med god vattenhållande förmåga kan ha ett betydande bevattningsbehov såväl medelår som torrår har även tidigare visats av (Jordbruksverket et al. 2018; Thor 2020). Resultaten tyder dessutom på att hela bevattningsbehovet inte skulle kunna täckas med det ansökta och inom regleringsprojektet bedömt hållbara bevattningsuttaget om 120 000 m³ under maj till och med sista juli. Den ansökta volymen skulle enligt simuleringsresultaten endast kunna täcka mellan 15–37 % av arealens bevattningsbehov. Alternativt hålla 73 ha helt vattenförsörjda under ett medelår och 29 ha under ett torrår. Som tidigare nämnt är det dock inte nödvändigt att täcka hela bevattningsbehovet för att öka

motståndskraften vid torka, att enbart undvika torkstress kan förebygga skördeförluster. Enligt preliminära resultat från bevattningsförsök av vall kan även enstaka bevattningsgivor leda till merskörd (Joel et al. 2021). Dessutom skulle även en säkrare och jämnare skörd på en del av jordbruksmarken genom bevattning kunna bidra till en ökad motståndskraft vid torka.

Värt att notera är dock att lantbruken kring Vansjön som regel endast tar en skörd för att sedan använda vallen till bete. Att ta flera skördar per år är vanligt förekommande i Sverige, och att inte göra det kan minska nyttan med bevattning. Fältförsök från 2020 har visat att bevattning av vall ger större avkastning än obevattnad vall först i den andra och tredje skörden (Joel et al. 2021). I simuleringen av scenario 2rot90B för medelåret utan bevattning beräknades vallen i studien utsättas för torkstress, det vill säga vattenunderskott större än 55 % av totalt växttillgängligt vatten, först 10 juni. I motsvarande simulering för torråret beräknades torkstress dock uppstå redan 16 maj (se Figur 7a) och 8a). Vilket tyder på att torkstress kan uppstå innan första skörden såväl medelår som torrår, dock under betydligt längre tid för torråret.

Det ansökta bevattningsuttaget har tidigare i en konsultstudie (Pettersson & Sandell 2020) inför tillståndsansökan beräknats vara ett hållbart uttag som inte påverkar sjön negativt förutsatt att den planerade reglering och höjning av vattennivån införs. Tillståndsansökan för regleringsprojektet har dock inte beviljats. Med tanke på att studiens resultat, trots stora osäkerheter, tyder på att det vid torka finns ett bevattningsbehov större än det ansökta bevattningsuttaget kan det i en framtid vara relevant att undersöka om ett större vattenuttag vid högre vattenstånd kan vara möjligt. Det behövs dock vidare studier för att klargöra om det är möjligt utan att påverka regleringsprojektets övriga mål: sjöns ekologi, friluftslivs aktiviteter och besöksnäringen negativt. Värt att notera är dock att de tidigare beräkningarna identifierat att vattenbrist kan uppkomma i sjön vid extremt torra år vilket kan leda till att utrymmet för bevattningsuttag kan minska eller elimineras. Det är rimligt att anta att dessa extremtorra år som leder till vattenbrist i sjön också innebär vattenbrist för grödorna på omgivande åkrar. Därmed finns det en risk att den planerade regleringen endast kan bidra till en ökad motståndskraft under torra år men inte extremt torra år.

I ett bredare perspektiv väcker dessa resultat frågor om hur vår tids föränderliga klimat med förändrade nederbördsmonster och mer ojämn vattentillgång som följd kan komma att påverka osäkerheten gällande vallskördarnas kvantitet och kvalitet. Liksom hur det i sin tur kan komma att öka osäkerheten vad gäller tillgång på foder och därmed landets livsmedelssäkerhet. Med tanke på det nuvarande och framtida klimatet, den låga andelen bevattning i Sverige och vikten av en väl vattenförsörjd gröda för jämna skördar är det av stor vikt för såväl svenska lantbruk som svensk livsmedelsförsörjning att mer fokus läggs på jordbrukets vattenbehov. Detta är

relevant på såväl lokal som regional nivå inom vattenplanering och investering. Vilket tidigare har understrukits av såväl Jordbruksverket (2018) som LRF (2023).

4.4 Slutsatser och rekommendationer

Syftet med studien var att undersöka möjligheten att på ett hållbart sätt göra bevattningsuttag ur Vansjön tillräckligt för att öka lantbrukarnas motståndskraft vid torka. För att uppnå detta beräknades det potentiella bevattningsbehovet. Sedan jämfördes resultatet med det ansökta bevattningsuttaget för att bedöma om det kan vara tillräckligt.

Resultaten från studiens simuleringar visade att bevattningsbehovet för vallen inte kan täckas varken under torrår eller medelår. Motståndskraften vid torka skulle däremot kunna öka utan att täcka hela behovet, så länge torkstress kan undvikas och genom att prioritera att bevattna en mindre andel av åkermarken.

Simuleringsresultatet bedömdes dock innehålla stora osäkerheter till följd av användandet av medelvärden i konstruerade typår, få simuleringar och modellens känslighet för mängden totalt växttillgängligt vatten, vars parametervärde inte var känt för platsen. Dessa osäkerheter gör det svårt att med säkerhet besvara frågeställningarna.

I framtida studier av liknande slag skulle osäkerheten kunna minskas på tre huvudsakliga sätt. För det första genom mätningar och bättre kunskap om de parametrar som påverkar den totala mängden växttillgängligt vatten. För det andra genom simulering av flera år med uppmätta värden för väderparametrarna. För det tredje genom simuleringar med en bevattningsstrategi anpassad efter lämplig teknik och med målet att enbart undvika torkstress.

Referenser

- Agrillo, C. (2021). Framtidens vattenvård: en kvantifiering av internbelastningen av fosfor i Vansjön och Nordsjön i Norduppland. Sveriges lantbruksuniversitet. Biologi och miljövetenskap kandidatprogram <https://stud.epsilon.slu.se/16757/>
- Allen, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D. & SMITH, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper. (56) <https://www.fao.org/4/X0490E/X0490E00.htm>
- Andås, C. (2023). Vattenbalansberäkningar som metod för bevattningsplanering: Efterhandsvalidering i svenska bevattningsförsök med olika bevattningsstrategier i vall. Sveriges lantbruksuniversitet. Agronomprogrammet - mark/växt. <https://stud.epsilon.slu.se/18773/>
- Angelakis, A.N., Zaccaria, D., Krasilnikoff, J., Salgot, M., Bazza, M., Roccaro, P., Jimenez, B., Kumar, A., Yinghua, W., Baba, A., Harrison, J.A., Garduno-Jimenez, A. & Fereres, E. (2020). Irrigation of World Agricultural Lands: Evolution through the Millennia. *Water* (Basel), 12 (5), 1285. <https://doi.org/10.3390/w12051285>
- Berglund, K., Berglund, Ö. & Bjureus, A.G. (2002). Markstruktur index - ett sätt att bedöma jordarnas fysikaliska status och odlingssystemets inverkan på markstrukturen.
- Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I. & Simonsson, M. (2011). Marklära 1. uppl. Studentlitteratur.
- FAO, Land and Water Development Division. (2022). CropWat 8.0. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/> [2024-02-04]
- Grusson, Y., Wesström, I. & Joel, A. (2021). Impact of climate change on Swedish agriculture: Growing season rain deficit and irrigation need. *Agricultural Water Management*, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106858>
- Joel, A., Nilsson-Linde, N. & Wesström, I. (2021). Går det att höja vallskördarna med enstaka bevattningsgivor – vad händer med kvaliteten?: L1-267. (Försöksrapport sverigeförsöken 2020). <https://sverigeforsoken.se/trialbook>
- Jordbruksaktuellt (2024). Bevattning alltid lönsamt – med rätt förutsättningar. Jordbruksaktuellt. <https://www.ja.se/artikel/61097/bevattning-alltid-lonsamt-med-rtt-frutsttningar.html> [2024-02-04]
- Jordbruksverket (2019). Långsiktiga effekter av torkan 2018 och hur jordbruket kan bli mer motståndskraftigt mot extremväder. https://www2.jordbruksverket.se/download/18.21625ee16a16bf0cc0eed70/1555396324560/ra19_13.pdf [2025-01-27]
- Jordbruksverket (2021). Jordbruksmarkens användning 2020. Slutlig statistik. <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2021-02-03-jordbruksmarkens-anvandning-2020.-slutlig-statistik> [2024-08-02]
- Jordbruksverket, officiella statistik (2024). Bevattning och dränering av jordbruksmark 2023. <https://jordbruksverket.se/om->

- jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2024-11-20-bevattning-och-dranering-av-jordbruksmark-2023 [2024-12-02]
- Jordbruksverket, Greppa Näringen, Malm, P. & Berglund, P. (2007). Bevattning och växtnäringens utnyttjande. (Sandin, H., red.) 2007 (5), 36
- Jordbruksverket, Mattsson, E., Andersson, J., Sabel, U., Jakowlew, G., Johansson, T. & Bollbark, L. (2018). Jordbrukets behov av vattenförsörjning. https://issuu.com/jordbruksverket/docs/ra18_18 [2024-02-04]
- Lantbruksnytt (2023). Ökat intresse för bevattning. Lantbruksnytt. <https://lantbruksnytt.se/okat-intresse-for-bevattning/> [2024-12-04]
- Linnér, A.H. (2003). Bevattningsstrategier på friland. Institutionen för markvetenskap, Sveriges Lantbruksuniversitet. 12
- LRF (2023). Kostnader för jordbrukets gröna omställning. <https://www.lrf.se/nyheter/ny-rapport-fran-lrf-20-miljarder-for-att-stalla-om-sveriges-jordbruk/> [2024-02-04]
- Norconsult (2020). Enkel uppskattning av Vansjön/Nordsjöns vattenvolym vid olika vattennivåer
- Pettersson L, Norén P, & Norconsult (2019). Alternativ för reglering av Vansjön och Nordsjön - Förstudie inför tillståndsansökan
- Pettersson, L. & Norén, P. (2020). Byggnad av damm och faunapassage samt muddringsarbeten i Vansjöns utloppsområde, Örsundaån, Heby kommun (Teknisk beskrivning bilaga b). (2020), 41
- Pettersson, L. & Sandell, G. (2020). Byggnad av damm och faunapassage samt muddringsarbeten i Vansjöns utloppsområde, Örsundaån, Heby kommun (MKB bilaga C). (2020), 126
- SGU (u.å.). Kartvisaren Jordarter 1:25 000–1:100 000. <https://www.sgu.se/produkter-och-tjanster/kartor/kartvisaren/jordkartvisare/jordarter-125-000-1100-000/> [2024-12-03]
- SMHI (2024). Advanced Climate Change Scenario Service | SMHI. Advanced Climate Change Scenario Service. <https://www.smhi.se/en/climate/future-climate/advanced-climate-change-scenario-service/met/sverige/medeltemperatur/rcp45/2071-2100/year/anom> [2024-11-03]
- SMHI (u.å.). Ladda ner meteorologiska observationer | SMHI. <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=airTemperatureMinAndMaxTwiceEveryDay,stations=all,stationid=96560> [2024-02-04]
- SMHI, Schimanke, S., Joelsson, M., Andersson, S., Carlund, T. & Wern, L. (2022). Observerad klimatförändring i Sverige 1860–2021. Klimatologi, 2022 (69). <https://www.smhi.se/publikationer/publikationer/observerad-klimatforandring-i-sverige-1860-2021-1.189738>
- Svenskt vattenarkiv, S. (1995). Sänkta och torrlagda sjöar. (nr 65). https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.164959!/Hydrologi_62%20S%C3%A4nkta%20och%20torrlagda%20sj%C3%B6ar.pdf
- Thor, G. (2020). Bevattning i vallodling. Sveriges lantbruksuniversitet. Agronomprogrammet - mark/växt. <https://stud.epsilon.slu.se/15633/>
- Tidningen Nötkött (2024). Stort intresse för bevattning. Tidningen Nötkött. <https://tidningennotkott.se/nyheter/2024/stort-intresse-for-bevattning/> [2024-12-04]
- Vansjö Nordsjö vattenvårdsförening (2011). OM SJÖARNA. Vansjö Nordsjöns Vattenvårdsförening. <https://vansjonordsjo.se/sjoarna/> [2024-12-03]
- Vansjö Nordsjö vattenvårdsförening (2023). Inget provningstillstånd från Mark- och miljödomstolen. Vansjö Nordsjöns Vattenvårdsförening.

<https://vansjonordsjo.se/inget-provningstillstand-fran-mark-och-miljodomstolen/> [2024-11-18]
Vattenmyndigheterna (2017). VM Avrinningsområden HARO, DARO och VARO (grupp) 2016–2021 - GeodataKatalogen. Geodata. <https://ext-geodatakatalog.lansstyrelsen.se/GeodataKatalogen/srv/api/records/GetMetaDataById?id=fe770d2e-1965-4fb6-b402-87d130383b09> [2025-01-23]

Sekundära källor:

Stork, F. (2019). Gammalt knep säkrar tillgången på vatten. ATL. s. 12.

Hansson, P. (2012). Vatten begränsar svenska skördar. Arvensis, 04, ss. 16–17

Tack

Först och främst vill jag tacka min handledare Jennie Barron för hennes vägledning och tålamod under arbetets gång. Fortsatt vill jag tacka Vansjö Nordsjö vattenvårdsförening för att ha möjliggjort detta projekt genom er lokalkännedom och engagemang.

Fortsatt vill jag tacka min familj och min partner Robin för all stöttning ni gett under arbetets gång, mina vänner Runa, Lotta och Elsa för korrläsning och välbehövlig peppning längs vägen. Sist men inte minst vill jag tacka Jannie på biblioteket för dina goda råd och smittande positivitet när skrivandet varit som svårast.

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

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

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