



SOLDRIVEN VATTENPUMP
PLACERAS I BRUNN
OMGIVEN AV VÄXTER

Förstudie- offgrid pumplösningar för näringsämnesreduktion *Slutrapport*

Framställt av: HIR Skåne

<https://hushallningssallskapet.se/alla-sallskap/valj-sallskap/hir-skane/>

Telefon: +46 10 476 20 00

Slutversion: 20 oktober 2023

Uppdragsgivare: Höje å Vattenråd

Medverkande: Elin Svensson (Höje å vattenråd), Karl Asp (Lunds kommun), Rebecka Nilsson (Ekologigruppen), Marc Puig von Friesen (HIR Skåne)

Granskning: Torbjörn Davidsson (Ekologigruppen), Christoffer Bonthron (Tullstorpsåprojektet).

Illustrationer: Ekologigruppen

Projekt: Förstudie - offgrid pumplösningar för näringsämnesreduktion

Rapporten inklusive bilder och illustrationer får fritt användas och spridas av Länsstyrelsen och andra aktörer.

Innehåll

1. Sammanfattning	4
2. Bakgrund	5
3. Pumplösningar.....	6
3.1. Internationell kartläggning av pumplösningar	6
3.2. Metod för uppskattning av miljönytta och ekonomi av pumplösningar.....	6
3.3. Infiltration och översilning.....	7
3.4. Återcirkulering	10
3.5. Bevattning.....	11
3.6. Andra pumplösningar	11
3.7. Sammanställning pumplösningar	12
4. Affärsmodeller för kompensation för miljönytta	13
5. Krav, tillstånd och begränsningar.....	13
6. Begrepp och storheter.....	13
7. Fallstudier	14
7.1. Infiltration och översilning - stort vattendrag, mindre pump (teoretisk)	16
7.2. Våtmark Äspet - Höje å, litet vattendrag	16
7.3. Infiltration och översilning - stort vattendrag, större pump (teoretisk)	16
7.4. Alberta - Höje å, litet vattendrag och stor infiltrationsyta	17
7.5. Bevattningsvåtmark - soldriven (teoretisk).....	17
7.6. Bevattningsvåtmark - Björnstorp.....	17
8. Slutsatser	18
8.1. Slutsatser från fallstudier.....	18
8.2. Övriga slutsatser	18
9. Fortsatt arbete.....	19
Appendix I – Bakgrund och praktisk information inför installation.....	20
1. Offgridlösningar för vattenpumpning	20
2. Pumpat vatten över säsong och över dag och dess konsekvenser för dimensionering	20
3. Typer av pumpar.....	22
4. Installation av vattenpump.....	22
4.1. Rent vatten	22
4.2. Garantera minimivattennivå i å	22
4.3. Risker för vattenpumpsinstallation samt behov av underhåll	23
4.4. Placering av solceller	23
4.5. Övrigt	23
Appendix II – Räkneexempel av kostnad och miljönytta för pumplösning med infiltration för Alberta	24

1. Sammanfattning

Projektet är en förstudie kring konceptet ”offgrid pumplösningar för näringsämnesreduktion”, det vill säga hur vattenpumpsystem utan anslutning till elnätet, kan användas för att reducera kväve och fosfor och därmed skapa miljönytta. Projektet har kartlagt olika typer av soldrivna pumplösningar och dess mekanismer för reduktion av näringsämnena. Projektet har genomfört olika teoretiska fallstudier där olika pumplösningar utvärderats. De beräkningar som har gjorts är baserade på vissa antaganden gällande infiltrationshastighet samt effektivitet av reduktionsmekanismer för kväve och fosfor. Uppskattningen av reduktionseffektiviteten är den faktor som har störst påverkan på den beräknade miljönyttan.

Projektet har visat att offgrid pumplösningar har stor potential att vara miljö- och ekonomiskt relevanta komplement till åtgärder som bygger på passiv rening för reduktion av kväve och fosfor i våtmarker. Projektet har även visat på miljönyttan från bevattning.

Offgrid pumplösningar ger möjlighet för olika nyttor som näringsämnesreduktion, ökad biologisk mångfald samt möjlighet att etablera nya anläggningar på de platser det är svårt att placera våtmarker och där det blir ineffektivt med naturligt in- och utflöde.

Den nya pumplösning som sammanlagt har bedömts med störst potential med hänseende på miljönytta, kostnadseffektivitet och robusthet i genomförande är kombinationslösningen med infiltration och översilning. Kostnadseffektiviteten ökar vid uttag ur större vattendrag.

Projektet uppmuntrar ett fortsatt arbete kring offgrid pumplösningar för näringsämnesreduktion genom att tydliggöra reduktionseffektiviteten för olika pumplösningar, i synnerhet för infiltration och översilning, vilken påverkan som pumpningen har på vattendragen, praktiska svårigheter som uppkommer i samband med anläggning och drift, dimensionering av pumplösningar samt dess påverkan på biologisk mångfald.

2. Bakgrund

Våtmarker anläggs idag för att bland annat reducera kväve och fosfor. Denna passiva rening är attraktiv då de är åtgärder som enkelt kan planeras, har låga ekonomiska kostnader, har påvisade och väl beskrivna reningsegenskaper och kräver lite underhåll. Idag förekommer det olika pumplösningar som drivs direkt av solceller och vindkraft, utan behov av externt elnät, vilket gör att de kan placeras på platser där det inte finns tillgängligt nät, de har inget behov av anslutning och de har ingen elkostnad. I Höje å avrinningsområde är platsbristen ett faktum då livsmedelsproduktion på högklassig jordbruksmark konkurrerar med tätorter och vattenrening som då måste vara effektiv och uppta en så liten yta som möjligt. Här skulle därmed pumplösningar kunna komplettera våtmarker som platseffektiva åtgärder för näringsämnesreduktion.

Projektet har finansierats av LOVA-medel genom Länsstyrelsen Skåne och av Region Skånes miljövårdsfond.

Höje å vattenråds kansli har varit projektledare. HIR Skåne har agerat som extern teknisk konsult och Ekologigruppen har agerat som extern våtmarkskonsult. Naturvårdsingenjörerna (Solpump.se) har involverats för utformning och egenskaper samt kostnader av pumplösningar. Projektet har även involverat Hushållningssällskapet Halland och Region Skåne gällande våtmarksexpertis, samt Björnstorps gods och markägare i Alberta och Äspet.

Föreliggande rapport sammanfattar den genomförda förstudien.

3. Pumplösningar

Det finns olika sätt man kan använda vattenpumpar på för att åstadkomma näringsämnesreduktion. Nedan beskrivs olika pumplösningar utifrån utformning, mekanismer för näringsämnesreduktion, biologiska aspekter, risker och förutsättningar. Utöver näringsämnesreduktion möjliggör vattenpumplösningar anläggande av våtmarker på nya platser där det annars inte skulle vara kostnadseffektivt eller praktiskt möjligt. Exempelvis där en sidovåtmark med öppen vattenspiegel skulle behöva grävas väldigt djup för att få in vatten från ett dike vars normala vattenyta ligger mycket lägre än omgivande markyta.

Det finns befintliga anläggningar med en soldriven pump som pumpar in vatten i en våtmark under lägre vattennivåer och att vatten naturligt rinner in under vinterns högflöden. Denna rapport fokuserar inte på dessa anläggningar utan nya mer obeprövade lösningar att använda soldrivna pumpar för näringsämnesreduktion.

Pumplösningar skulle med fördel kunna placeras i anslutning till större vattendrag, större stamledningar från lantbruk, dels för att miljönyttan är större vid högre halter av näringsämnen, dels för att det får en mindre påverkan på vattendragen, förutsatt att det pumpade vattnet återgår till recipienten.

3.1. Internationell kartläggning av pumplösningar

En internationell kartläggning har genomförts som visar att det inte finns mycket studerat kring soldrivna vattenpumpar för näringsämnesreduktion.

Det finns dock exempel på soldriven vattenpump som används för våtmarker, men med fokus på att skapa goda förutsättningar för ett rikt fiskliv.¹

Det finns även exempel på hur vattenpumpar kan användas för att sprida vatten från lantbruk till våtmark för rening.²

3.2. Metod för uppskattning av miljönytta och ekonomi av pumplösningar

Då miljönyttan inte skalar linjärt med den ekonomiska kostnaden är det inte möjligt att göra en allmän beskrivning av miljönytta, i termer av näringsämnesreduktion och ekonomi för de olika pumplösningarna. Det kan även finnas begränsningar på hur mycket en viss installation kan användas under året, utifrån begränsningar av mängden vatten som kan pumpas ut från vattendraget.

I praktiken innebär det att man kan få en fingervisning om vilka platser som kan vara lämpliga och att man behöver göra beräkningar för olika pumplösningar utifrån lokala förutsättningar för att kunna fastställa de ekonomiska och miljömässiga förutsättningarna för en specifik plats.

Den metod som används för att beräkna miljönytta och ekonomi för olika typer av pumplösningar baseras på ett antal antaganden, uppgifter om lokala förutsättningar och ekonomiska uppskattningar för åtgärd. Med antaganden menar vi specifika värden för reningsprocessernas effektivitet, som exempelvis kan bero på jordmån. Dessa antagna värden har stora osäkerheter och behöver fastställas bättre, exempelvis genom ett pilotprojekt. Med lokala förutsättningar menar vi input för att beskriva förutsättningar för en konkret åtgärd, exempelvis jordmån, storlek på möjlig yta för infiltration

¹ <https://www.landofthefanns.org/solar-powered-water-pumps-helping-wildlife-rspb-rainham-marshes/>

² <https://iwaponline.com/wst/article/85/11/3301/89097/Comparison-of-simple-models-for-total-nitrogen>

och/eller översilning och flöde i recipient. Antaganden och lokala förutsättningar kan summeras nedan:

- Procentuell reduktion av kväve och fosfor vid infiltration och översilning
- Belastning av kväve och fosfor utifrån storlek och mark/odlingstyp i upptagningsområde.
- Yta finns att tillgå för infiltration och översilning.
- Typen av jordmån som bestämmer hur mycket vatten som kan tas emot utan att mättas.
- Mängd vatten som kan tas från vattendrag utifrån hur mycket vatten som ytan kan ta emot i fallet för infiltration och översilning.
- Mängd/perioder under året som vatten kan tas från vattendraget utifrån krav på tillåten vattenvolym och flöde i recipient.
- Höjdskillnaden mellan nivå i recipient och högsta punkt för pumpning samt maximalt flöde inkluderas vid bestämning av lämplig pump.

Denna metod används vid de tekno-ekonomiska analyserna i fallstudierna. Syftet med metoden är dels att klargöra om det verkar rimligt att pumplösningar kan vara konkurrenskraftiga som åtgärder för näringsämnesreduktion, dels för att ge en första indikation på lämpliga åtgärder för specifika platser som kan användas för etablering av nya anläggningar.

De ekonomiska uppskattningarna samt hur mycket vatten som pumpas över året har gjorts tillsammans med företaget Naturvårdsingenjörerna (Solpump.se) som är leverantörer och installatörer av soldrivna vattenpumpsystem samt utför markentreprenadarbeten.

Metoden har begränsningar både utifrån antaganden för effektiviteten av näringsämnesreduktionen för olika reduktionsmekanismer samt i antaganden av de lokala förutsättningarna. De antaganden som görs med hänseende på effektiviteten av reduktionsmekanismerna har störst osäkerhet och ger störst variation i den beräknade miljönyttan. Exempelvis anges effektiviteten av kvävereduktion vid infiltration mellan 0,35 och 0,8, vilket ger mer än en faktor 2 i variation av miljönyttan. För att inte överskatta miljönyttan har relativt konservativa antaganden gjorts genomgående i rapporten.

Metoden kan förfinas genom en bättre uppskattning på effektiviteten av näringsämnesreduktionen för olika reduktionsmekanismer, vilket kan uppnås genom ett faktiskt pilotprojekt där olika reduktionsmekanismer utvärderas. De lokala mark- och vattenförutsättningarna kan förfinas genom projektering. Påverkan på vattendraget från de olika pumplösningarna och möjligheten att pumpa ut vatten vid låga vattenflöden bör också utredas i ett pilotprojekt.

3.3. Infiltration och översilning

3.3.1. Infiltration

Infiltrationslösningen innebär att man pumpar upp vatten och sprider det genom ett perforerat nedgrävt rör så vatten kan infiltrera i markprofilen som sluttar ner mot åfåran eller våtmarken så att vattnet efter att ha passerat infiltrationsytan sedan återgår till recipienten. Fosfor som är bunden till partiklar fastläggs i jordprofilen och kväve i nitratform omvandlas till kvävgas genom denitrifikation i syrefattiga miljöer i jorden. Den sistnämnda processen begränsas om rotzonen inte fuktas. Mängden pumpat vatten begränsas av infiltrationsytan och dess infiltrationshastighet som beror på jordtypen. Som jämförelse har sandjord en infiltrationshastighet på 20–30 mm/tim³ och för lerjorden infiltrationshastighet på 1,5 – 10 mm/tim⁴. Reningskapaciteten, angivet i hur stor del av

³ https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Design_infiltration_rates
<https://www.fao.org/3/s8684e/s8684e0a.htm>

⁴ https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Design_infiltration_rates
<https://www.fao.org/3/s8684e/s8684e0a.htm>

näringsbelastningen som reduceras, beror på näringsämnet och på jordtypen, se Tabell 1 **Fe!! Hittar inte referenskälla.** nedan.

Tabell 1. Reduktionseffektivitet för infiltration angivet i andel reducerat näringsämne.^{5 6}

Andel reduktion av fosfor i sandjord	0,9
Andel reduktion av fosfor i lerjord	0,7
Andel reduktion av kväve i sandjord/lerjord	0,35–0,8

3.3.2. Översilning

En annan pumplösning för näringsämnesreduktion är översilning, det vill säga att vatten pumpas ut och rinner över en bevuxen yta. Vid översilning sker reduktion av näringsämnena dels genom att de binds i växter, dels genom sedimentation och dels genom denitrifikation. Denitrifikation och sedimentation torde vara de mekanismer som har störst reduktionskapacitet.⁷

För att maximera reduktion genom växtlighet är det mest lämpligt att så in t ex vall. För att få bort näringsämnena behöver grödan skördas regelbundet eller betas, men den kan också fastläggas och fixeras i jorden när växtdelar vissnar.

Vid sedimentation fastnar större partiklar på ytan, vilket gör denna reduktionsmekanism mest relevant för fosfor i grumliga vatten. En risk med sedimentation är att de sedimenterade massorna spolats bort vid kraftigt regn. Denna risk minimeras genom etablering av växtlighet.

Vid denitrifikation reduceras bakterier kväve under syrefria förhållanden, det vill säga när marken är vattendränkt. Utöver kväve, använder dessa bakterier organiskt kol i sin metabolism, vilket de kan få från förmultnade växtrester.

Gemensamt för de olika reduktionsmekanismerna vid översilning är att deras effektivitet beror på faktorer som näringsämneshalter och i vilken form dessa transporteras, vilket gör att det blir väldigt svårt att kvantifiera deras effektivitet.

Översilningslösningen skapar våta bevuxna miljöer vilket är sällsynt i odlingslandskapet och ger en ökad biologisk mångfald.

Beroende på utformning och storlek på översilningsytan kan lösningen ge en ökad skörd.

En övergripande utmaning för översilning är avdunstning som kan vara upp till 3 mm/dag vid öppen vattenspegel⁸, men borde vara lägre då översilningsytan är beklädd med växtlighet. Den avdunstade mängden vatten är förhållandevis låg jämfört med mängden pumpat vatten och motsvarar ca 1-2 % i de fallstudier som genomförts. Då översilningsytan är beklädd med växtlighet samt när vatten endast pumpas ut över en del av dygnet och inte under hela året, bör avdunstningen vara mindre.

⁵ https://balticsea2020.org/images/Bilagor/An_Assessment_of_the_Multifunctionality_of_Integra_2019.pdf
https://balticsea2020.org/images/Bilagor/Zak_et_al_EST_integrated_buffer_zones_2018.pdf
https://balticsea2020.org/images/Bilagor/Introducing_Integrated_Buffer_Zones_-_a_case_study_in_LIFE-Goodstream.pdf

⁶ Peter Feuerbach och John Strand, 2015, Integrerade Skyddszoner – Slutrapport, Hushållningsallskapet Halland

⁷ Information från Ekologigruppen.

⁸

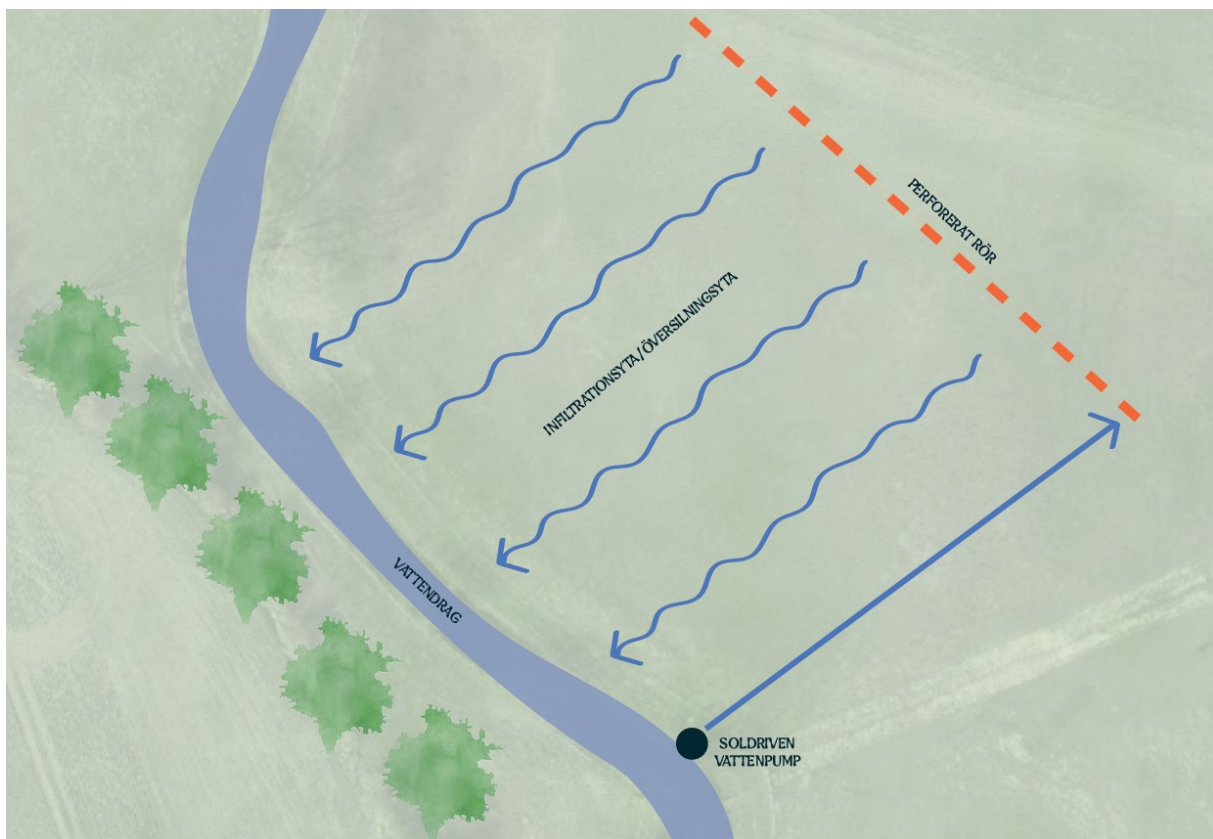
<https://vaxjo.se/download/18.1b35cce31750238d079de08/1602147756280/Sammanfattning%20V%C3%A5tm%20slutversion%2027%20april.pdf>

Typiskt är det fördelaktigt att kombinera infiltration med översilning, då infiltration blir den mest dominanta reduktionsmekanismen vid sandiga jordar, medan vid placeringar med lerig och mullrik jord kommer reduktion från översilning att dominera. Det innebär att utformning av kombinationslösningen, infiltrations- och översilningsyta, blir likartad för olika jordmåner, vilket förenklar framtagande av kriterier osv vid projektering och anläggning.

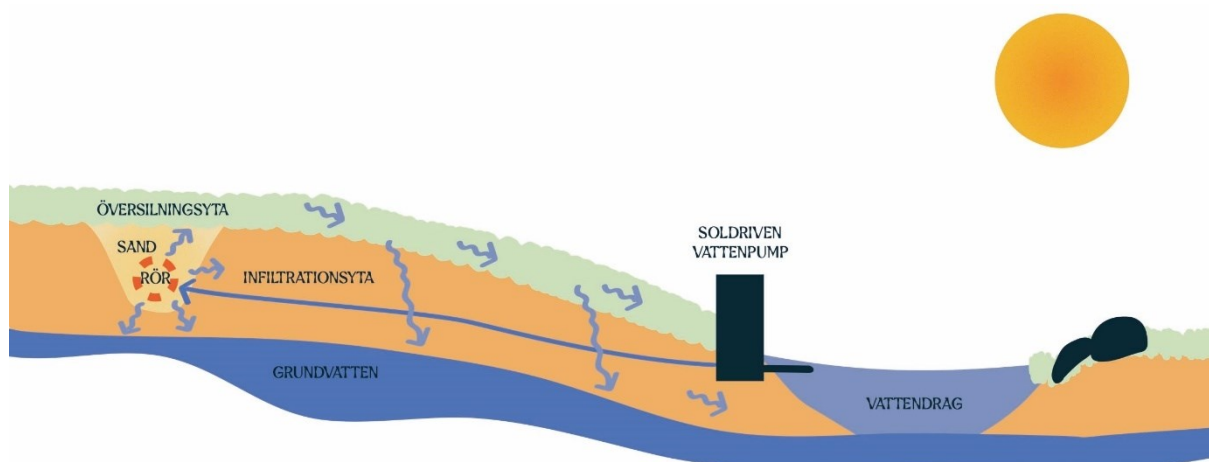
3.3.3. Utformning och markberedning av infiltrations- och översilningsbädd

Vatten pumpas upp från vattendraget in i ett perforerat rör som placeras i en grävd och grusfylld ränna i ovankanten på infiltrationsbädden så att vattnet sprids jämt över infiltrationsytan. Om mer vatten pumpas in i röret än som kan infiltrera genom markprofilen så trycks vatten upp på markytan och översilar på markytan ned mot vattendraget eller våtmarken.

Se Figur 1 och Figur 2 nedan.



Figur 1. Skiss över infiltration/översilningsslösning.



Figur 2. Sektion av infiltration/översilningslösning.

3.3.4. Risker för infiltrations- och översilningslösningen

Risken för frysskador i rör finns för infiltrationslösningen, men den minimeras genom att infiltrationsröret töms genom infiltration när vattnet inte pumpas. Man kan även göra ett hål i infiltrationsröret vid vattenpumpen och lägga röret så att det sluttar ned mot pumpen, så att det töms automatiskt när det inte pumpas vatten. Om dräneringsröret placeras så att det först sluttar uppåt till den högsta punkten ovanför infiltrationsytan och därefter sluttar neråt ner till slutet av infiltrationsytan, kan även ett litet hål göras i slutet av infiltrationsröret så att det töms i båda riktningarna.

När vattnet översilar på markytan, finns det risk för erosion och att det skapas kanaler, men den risken kan minimeras genom en tät och väleablerad grässvål. En svag lutning på översilningsytan och liten mängd pumpat vatten minskar också denna risk.

Det finns en risk att vattnet som sprids genom infiltrations- och översilningslösningen inte går tillbaka till recipienten om grundvattennivån skulle vara under vattendragets nivå, vilket är ovanligt. Om vatten som pumpas från recipienten inte rinner tillbaka till den så skulle detta kunna leda till att flödet i recipienten sjunker. För att minimera den risken kan grundvattennivån studeras och säkerställa att den inte ligger under vattendraget samt att anlägga infiltrations- och översilningsytan så att den sluttar ner mot vattendraget.

Det finns en risk att nivån i åfåran minskar vid inpumpning till infiltrations- och översilningsytan. Denna risk är generellt sett liten, då det pumpade flödet är mycket mindre än flödet i ån, och risken kan minimeras genom att säkerställa en viss miniminivå i åfåran. Man kan även studera möjligheten att ta vatten nedströms infiltrations- och översilningsytan. På så vis ökar flödet uppströms brunnens placering, då vattnet återgår till recipienten efter att ha infiltrerats/översilats.

3.4. Återcirkulering

En annan pumplösning för att öka våtmarkernas förmåga för näringsämnesreduktion är att återcirkulera vattnet i våtmarker med öppen vattenspegel och på så vis öka sedimentation av fosfor och biologisk reduktion av kväve. En vattenpump placeras i utflödet av våtmarken och vattnet pumpas tillbaka till inloppet av våtmarken, med fördel genom en infiltrationsyta, för att på så vis öka den sammanlagda reningsförmågan. Det kan även vara en åtgärd som kan vara relevant för befintliga våtmarker utan större ingrepp på omkringliggande landskap.

En begränsning för återcirkulering är att flödet genom våtmarken inte får vara för högt för att fosfor ska kunna sedimentera. En nackdel med återcirkulering är att man återför ett vatten som redan gått

igenom våtmarken och därför har lägre belastning av näringsämnen. Ju lägre halter näringsämnen desto mindre total rening vilket gör att när vatten passerar våtmarken för andra gången så minskar reduktionseffektiviteten, men halten näringsämnen i utloppet är lägre än om ingen återcirkulering sker.

3.5. Bevattning

En annan form av infiltration och översilning är bevattning. Vatten pumpas in till en bevattningsvåtmark, för att sedan användas för bevattning. Rening av vatten sker både genom infiltration och genom näringsupptag av växter. Då det ofta finns begränsningar för användning av vatten från vattendrag under sommarhalvåret pumpas vattnet till bevattningsvåtmarken typiskt under vinterhalvåret för att sedan användas för bevattning under ett par-tre månader under sommaren. Pumplösningen för bevattning är generellt nätansluten, dels för att kunna pumpa vatten till dammen vintertid, dels för att kunna pumpa ett stort antal timmar om dagen vid störst bevattningsbehov. Det går också att tänka sig lösningar för offgrid eller hybridlösningar.

Utifrån ett näringsreduktionsperspektiv kan bevattningsvåtmarker användas på två sätt. Det första är genom konventionell bevattning, nämligen att vattnet som används vid bevattning renas, både genom infiltration och genom upptagning i växter. Den andra möjligheten är att använda bevattningsvåtmarkens infrastruktur för pumpning och bevattning, utöver det faktiska behovet av bevattning, för extra infiltration av vatten på åkermark och minska mängden näring i vattnet.

En övergripande risk vid bevattning som åtgärd för näringsämnesreduktion är att det skulle öka urlakningen av näringsämnena på åkermarken. Det skulle därför vara viktigt att inte sprida extra vatten vid tidpunkter med hög vattenbelastning på åkrarna, i synnerhet under perioder när man sprider näringsämnena på åkrarna.

En annan risk är att i synnerhet fosfor som sedimenteras på åkermarken återförs till recipienten vid regn. En fördel med bevattningsvåtmark är att på grund av dess stora volym och djup så är uppehållstiden typiskt mycket längre än för en grund sidovåtmark, vilket gör att fosfor sedimenteras i mycket högre grad i bevattningsvåtmarken. Detta minskar belastningen på vattnet som pumpas ut på åkermarken och på så vis minskar risken för återföring till recipienten vid regn. Risken för återföring av näringsämnena till recipienten är dock förhållandevis låg, då bidraget av näringsämnena från bevattning är försumbart jämfört med den tillförda mineralgödseln.

En grundförutsättning för lantbrukaren är att den ökade vattentillförseln till åkrar utöver bevattningsbehov inte påverkar skörden negativt, vilket innebär att åtgärden blir mest relevant i de fall det finns en bra avrinning. En ekonomisk förutsättning är att den ekonomiska kompensationen för miljönyttan ska vara högre än den ökade kostnaden för energi. Denna åtgärd blir därför mest relevant för soldrivna bevattningsinstallationer, där den extra pumpningen inte medför en ökad energikostnad.

3.6. Andra pumplösningar

3.6.1. Periodvis dränering av våtmark

Periodvis dränering av våtmark där nivåvariationen skapar anaeroba förhållanden och ökar denitrifikationen samt gynnar biologisk mångfald. Denna åtgärd bedöms som realistisk att genomföra i praktiken.

3.6.2. Syresättning

Blåsmaskin används för att öka syrenivån och därmed öka effektiviteten av de aeroba nitrifikationsprocesserna. Denna typ av åtgärd skulle vara relevant i de fall som nitrifikationssteget är

begränsande för kvävereduktion. För de fall som studerats sker nitrifikationssteget effektivt i åfåran och är därför inte en begränsande faktor, vilket gör att åtgärden inte bedöms som relevant.

3.7. Sammanställning pumplösningar

I Tabell 2 nedan följer en sammanställning av de olika studerade pumplösningarna.

Prioriteringsordning har satts utifrån uppskattning på konkurrenskraftighet samt praktisk genomförbarhet. Pumplösningar med prioritering 1 har beskrivits i detalj och det har genomförts fallstudier för de olika pumplösningarna. Pumplösning med prioritering 2 har beskrivits, men inte genomförts fallstudie på, då preliminära beräkningar visade att åtgärden inte var konkurrenskraftig. Pumplösningar med prioritering 3 har i fallet "Periodvis dränering av våtmark" bedömts som inte praktiskt genomförbar och i fallet "Syresättning" bedömts som inte konkurrenskraftig eller relevant då det ofta är anaeroba och inte aeroba processer som är begränsande för reduktion av kväve.

Tabell 2. Sammanställning av pumplösningar.

Pumplösning	Mekanism för reduktion	Geografiska förutsättningar	Nyckelfaktorer för att åtgärden ska vara relevant	Andra värden	Prioriteringsordning
Infiltration	Filtrering i jordprofilen.	Fördel med sandjord.	Infiltrationsytan ska typiskt vara större än 2000 m ² .		1
Översilning	Sedimentation på yta och upptagning av växter.	Fördel med bevuxna ytor.	Komplement till infiltration vid leriga jordar.	Kan ge ökad biologisk mångfald utifrån mer blöta bevuxna ytor. Ev. ökad skörd.	1
Bevattningsmark	Sedimentation i jordmån och upptagning av växter.	Bra avrinning för att minska risk för att skada grödor med för mycket vatten.	De bevattnade markerna ska inte skadas av extra vatten. Kostnaden för energi ska inte överstiga miljövinsten.	Ytterligare miljönytta och intäkter för lantbrukare från befintliga anläggningar.	1
Återcirkulering	Sedimentation av fosfor och biologisk reduktion av kväve i våtmark.	Kräver våtmark med öppen vattenspegel.	Kan kombineras med infiltrations- och översilningsyta	Kan öka effektiviteten av befintliga våtmarker.	2
Periodvis dränering av våtmark	Periodvis dränering av våtmark skapar anaeroba förhållanden och ökar denitrifikation.	Nivåvariationer i våtmark.	Anaeroba förhållanden är begränsande faktor för kvävereduktion.	Skapar en annorlunda biotop med förutsättningar för ökad biologisk mångfald.	3

Syresättning	Blåsmaskin används för att öka syrenivån och därmed öka effektiviteten av de aeroba nitrifikationsprocesserna.	En ökad nitrifikationseffektivitet skulle kunna öka ytan för det anaeroba området.	Denna typ av pumpplösning skulle vara aktuell på platser med höga halter av ammonium i recipienten.		3
--------------	--	--	---	--	---

4. Affärsmodeller för kompensation för miljönytta

Höje å vattenråd betalar en markersättning då en våtmark anläggs, men skulle också kunna ersätta markägaren när en infiltrations- och översilningsyta utan vattenspiegel anläggs. I fallet "bevattningsvåtmark" skulle vattenrådet utanför växtsäsongen när det inte finns något bevattningsbehov kunna av markägaren köpa tjänsten infiltration och vattenrening. Vattenrådet skulle då förslagsvis kunna betala markägaren i kr/m³ för att med sin bevattningsanläggning sprida vatten på åkrar då det inte finns ett bevattningsbehov och därmed bidra till näringsämnesreduktion. Detta skulle kunna ge en ökad miljönytta i termer av ökad näringsämnesreduktion samt en extra inkomst till lantbrukare.

5. Krav, tillstånd och begränsningar

Nedan är en sammanställning av relevanta krav, tillstånd och begränsningar.

- Tillstånd krävs vid etablering av våtmarker med ett vattenområde större än 5 ha vattenspiegel⁹
- Maxflöde som får gå till våtmark är 70 % av medelföring (MQ).¹⁰
- Minflöde i vattendrag för att få pumpa upp vatten är 30% av medelföring (MQ).
- Max pumpad volym vatten för att inte räknas som tillståndspliktig vattenverksamhet är 600 m³/dag (ca 7 l/s) och 100 000 m³/år⁹, men tillstånd behövs inte om det är uppenbart att varken allmänna eller enskilda intressen skadas genom vattenverksamhetens inverkan på vattenförhållandena.¹¹
- Minst 2 dygns uppehållstid i våtmark för att ha en rimlig reduktion av näringsämnen.

6. Begrepp och storheter

Nedan är en sammanställning av relevanta begrepp och storheter.

- MQ är medelföringen i vattendrag. MQ för olika mätpunkterpunkter kan hittas på [Hydrologiskt nuläge | SMHI - Vattenwebb](#)
- Enligt schabloner är mängden reducerad kväve i våtmark med öppen vattenspiegel 500 kg/ha/år och fosfor 50 kg/ha/år.¹²
- Värde av reducerade näringsämnen är för kväve 100 kr/kg och fosfor 1500 kr/kg.¹³

⁹ Enligt 19§ förordning (1998:1388) om vattenverksamheter.

¹⁰ Riktlinjer Länsstyrelsen Skåne.

¹¹ Enligt 11 kap 12§ Miljöbalken (1998:808)

¹² Weisner, S., et al, 2015, Näringsavskiljning i anlagda våtmarker i Jordbruket.

¹³ Ander, E., 2016, Översiktlig beräkning av specifika kostnader för fosfor- och kväverening vid kommunala reningsverk, PM. Eran Miljökonsult AB.

7. Fallstudier

Projektet har genomfört sex fallstudier med syfte att exemplifiera pumplösningarna och uppskatta deras miljönytta samt kostnad, men inga fysiska åtgärder och mätningar har gjorts. Uppskattningarna i fallstudierna baseras på metoden som finns beskriven i avsnittet 3.2. Uppskattningarna är ganska grova och ger endast en indikativ bild om hur stor miljönytta är. De värden som antagits för reduktionseffektiviteten är 0,8 för fosfor och 0,5 för kväve, vilket är relativt lågt jämfört med de angivna värdena^{5,6,14}, för att inte riskera att överdriva reduktionen. I beräkningarna anges endast reduktionsbidraget från infiltration, då det är väldigt svårt att uppskatta reningseffektiviteten från översilning. Vidare har det ansatts en relativt sandig jord, för att bättre vikta bidraget från infiltration. De beräknade resultaten för miljönytta torde därför vara förhållandevis konservativa. För att få en bättre uppskattning på miljönytta behövs både bättre kunskap om effektiviteten av de olika reduktionsmekanismerna och även om de lokala förutsättningarna. Kostnaderna för åtgärderna är uppskattade i samspråk med Naturvårdsingenjörerna (Solpump.se) som är leverantör och installatör av pumpsystem och som utför entreprenad för våtmarker och inkluderar alla investeringskostnader.

Fallstudierna delas in i teoretiska och faktiska fallstudier. I de teoretiska har antaganden gjorts för storlek på vattenspegel och tillgänglig yta för infiltration och översilning och där det antagits att vattendraget är så stort så att mängden pumpat vatten från vattendraget inte är begränsat av flödet i recipienten. För de faktiska fallstudierna har det ingått dialog med markägare samt med Länsstyrelsen kring när det kan vara acceptabelt att pumpa vatten från recipient. De halter som används för de faktiska fallstudierna är baserat på beräkningar utifrån de faktiska belastningarna för dess avrinningsområde¹⁵. Samma värden har använts i de teoretiska fallstudierna.

Fallstudierna för bevattningsvåtmarkerna är annorlunda från de övriga, då kostnaden för installationen motiveras främst utifrån lantbrukarens behov av bevattning. I de fallstudierna inkluderas värdet för reduktion från bevattning samt uppskattning av extra rening och dess associerade energikostnad vid användning av bevattningssystem utöver bevattningsbehovet.

Fallstudierna har valts utifrån de pumplösningar som har högst prioritet, se Tabell 2.

I beräkningarna för fallstudierna används halter av kväve och fosfor, det vill säga mg/l. Dessa halter beräknas utifrån den totala belastningen för avrinningsområdet som anges i kg/år och den totala mängden vatten i avrinningsområdet. De totala kostnaderna inkluderar både investering och underhåll under 20 år. Värdet av miljönytta fås genom den totala reduktionen av näringsämnen samt dess ekonomiska associerade värde¹³, se räkneexempel i Appendix II. Kvoten värde miljönytta/total kostnad är ett mått på hur konkurrenskraftig en åtgärd är och behöver vara större än 1 för att åtgärden ska vara ekonomiskt relevant. Som jämförelse var kvoten 1,3 för en specifik konventionell våtmark.¹⁶ Höjdskillnaden mellan vattendrag och hur mycket vatten som pumpas upp innan det släpps ut är ett kritiskt värde då det bestämmer hur kraftig pumpen måste vara.

Fallstudierna sammanställs i Tabell 3 **Fel! Hittar inte referenskälla.** för infiltration och översilning och i Tabell 4 för bevattningsvåtmark, nedan.

¹⁴ Reduktionseffektivitet för fosfor i lera är 0,7 och i sand 0,9. För kväve ligger effektiviteten mellan 0,35 och 0,8.

¹⁵ Beräkningarna är genomförda av Ekologigruppen.

¹⁶ Information från Ekologigruppen.

Tabell 3. Sammanställning av fallstudier för infiltration och översilning. Ju högre miljövinst/total kostnad desto mer kostnadseffektiv anläggning. Se beskrivning under rubrikerna 7.1-7.4.

Fallstudie	Beskrivning	Rening	Total kostnad (TKr)	Totalt miljövärde (TKr)	Miljövinst/total kostnad
Infiltration och översilning - stort vattendrag, mindre pump (teoretisk)	Infiltrationsyta på 3000 m ² , höjdskillnad 4 m, vattenpump 1,8 kW.	3,8 kg/år fosfor, 280 kg/år kväve.	378	670	1,8
Våtmark Äspet - Höje å, litet vattendrag	Infiltrationsyta på 2100 m ² , höjdskillnad 4 m, vattenpump 1,8 kW, begränsning till 30% MQ.	2 kg/år fosfor, 145 kg/år kväve.	378	350	0,9
Infiltration och översilning - stort vattendrag, större pump (teoretisk)	Infiltrationsyta 4000 m ² , höjdskillnad 9 m, vattenpump 8,3 kW.	6,1 kg/år fosfor, 450 kg/år kväve.	580	1 100	1,9
Alberta - Höje å, litet vattendrag och stor infiltrationsyta	Infiltrationsyta 24000 m ² , höjdskillnad 9 m, vattenpump 4 kW, begränsning till 20% MQ.	3,2 kg/år fosfor, 240 kg/år kväve.	478	573	1,2

I fallstudierna ser vi att i tre av fyra av fallen, utöver bevattningsvåtmarkerna, är pumplösningarna konkurrenskraftiga, det vill säga att miljövinsten är större än den totala kostnaden. Det är värt att framhäva att de antaganden som beräkningarna är baserade på är ganska grova och konsekvent relativt konservativa, för att minska risken av överskattning av miljönyttan. Vi ser att det finns tydliga skalfördelar med pumplösningarna, det vill säga att det blir billigare att pumpa vatten med större anläggningar, dvs med större ytor för infiltration och större pumpar vilket gör att kostnaden för en given miljönytta blir lägre. Större pumpsystem innebär samtidigt en större påfrestning på vattendraget, vilket sätter begränsningar i hur mycket vatten som kan pumpas upp utan att påverka vattenmiljön. Även mindre pumpanläggningar kan vara konkurrenskraftiga om man har möjlighet att pumpa vatten från recipienten en stor del av året.

Tabell 4. Fallstudier bevattningsvåtmark. Se beskrivning under 7.5 och 7.6.

Fallstudie	Beskrivning	Rening	Total kostnad (SEK)	Totalt miljövärde (SEK)
Bevattningsvåtmark - soldriven (teoretisk)	Miljönytta för bevattningsvåtmark på 40 000 m ³ med soldriven bevattning under bevattning och extra infiltration.	Vid bevattning: 1,3 kg/år fosfor, 150 kg/år kväve. Vid extra infiltration: 0,5 kg/år fosfor, 40 kg/år kväve.	0	Vid bevattning: 17 000. Vid extra infiltration: 4 500.

Bevattningsvåtmark - Björnstorp	Miljönytta för bevattningsvåtmark på 80 000 m3 med soldriven bevattning under bevattning och extra infiltration.	Vid bevattning: 2,6 kg/år fosfor och 310 kg/år kväve. Vid extra infiltration: 1 kg/år fosfor och 80 kg/år kväve.	15 500 i energikostnad för extra infiltration.	Vid bevattning: 34 000 per år. Vid extra infiltration: 9 000.
------------------------------------	--	--	---	---

Från fallstudierna om bevattningsvåtmarkerna ser vi miljönyttan från bevattning samt att det finns en positiv miljönytta för extra infiltrering utöver bevattningsbehovet, men att denna nytta är mindre än den ekonomiska kostnaden i fallet då man behöver betala för den ökade energianvändningen.

7.1. Infiltration och översilning- stort vattendrag, mindre pump (teoretisk)

För denna teoretiska fallstudie angiven i tabell 3 ansätter vi en infiltrationsyta på 3000 m² och en sandig jord med en infiltrationshastighet på 20 mm/tim, vilket ger ett maximalt flöde på 17 l/s som infiltrationsytan kan ta emot. Med en höjdskillnad på 4 m, innebär det att den lämpligaste vattenpumpen är på 1,8 kW. Vidare ansätter vi en fosforhalt på 0,036 mg/l och en kvävehalt på 4,3 mg/l i ingående vatten från recipienten, vilket resulterar i att 3,8 kg fosfor och 280 kg kväve reduceras per år. Den motsvarande miljövinsten uppgår till 670 000 kr och den totala kostnaden uppskattas till 378 000 kr, vilket ger en kvot på ca 1,8.

7.2. Våtmark Äspet- Höje å, litet vattendrag

Denna fallstudie är baserad på faktiska uppgifter för en tänkt lokalisering av en ny våtmark i Äspet. I detta fall är det planerat en infiltrationsyta på 2100 m² samt en höjdskillnad på 4 m. Fosforhalten i ingående vatten från recipienten är beräknad till 0,036 mg/l och kvävehalten är beräknad till 4,3 mg/l. Utgångsläget är att man endast pumpar vatten från ån under de perioder man har ett flöde över 30% MQ. För denna konfiguration är den mest lämpliga pumpen på 1,8 kW. Den resulterade reduktionen <är ca 2 kg/år fosfor och 145 kg/år kväve. Den totala miljövinsten är 350 000 kr och den totala kostnaden hamnar på ca 378 000 kr, vilket ger en kvot på ca 0,9, vilket innebär att åtgärden inte är konkurrenskraftig. De primära anledningarna till att denna fallstudie inte är konkurrenskraftig är begränsningen i vattenuttag från ån samt den låga ansatta reningsgraden av kväve. Vid ett uttag av vatten ner till 20% MQ skulle kvoten hamna på 1,3. Skulle reningsgraden för kväve vara 0,6 i stället för 0,5, vilket fortfarande är lågt räknat jämfört med maximala 0,8, skulle kvoten hamna på 1,1. Bidraget från översilning, som inte beräknas, skulle också höja kvoten.

7.3. Infiltration och översilning- stort vattendrag, större pump (teoretisk)

För denna teoretiska fallstudie ansätter vi en infiltrationsyta på 4000 m² och en sandig jord med en infiltrationshastighet på 20 mm/tim, vilket ger ett maximalt flöde på 20 l/s som infiltrationsytan kan ta emot. Med en höjdskillnad på 9 m, innebär det att den lämpligaste vattenpumpen är på 8,3 kW. Vidare ansätter vi en fosforhalt på 0,034 mg/l och en kvävehalt på 4,1 mg/l, vilket resulterar i att 6,1 kg fosfor och 450 kg kväve reduceras per år. Den motsvarande miljövinsten uppgår till 1,1 Mkr och den totala kostnaden uppskattas till 580 000 kr, vilket ger en kvot på ca 1,9. Denna åtgärd innebär att det pumpas ca 850m³/dag vissa månader och gränsen för tillståndsplikt är 600 m³/dag om det skadar allmänna eller enskilda intressen samt en total mängd pumpat vatten på ca 220 000 m³/år jämfört med tillståndsplikt vid 100 000 m³/år. Antagandet är att allt eller den största delen av vatten som pumpas upp ur recipienten rinner ned i den samma och därmed är vattenuttaget inte tillståndspliktigt då det anses vara uppenbart att det inte skadar allmänna eller enskilda intressen.

7.4. Alberta- Höje å, litet vattendrag och stor infiltrationsyta

Denna fallstudie är baserat på faktiska uppgifter för en tänkt lokalisering av en infiltrationsyta i Alberta. I detta fall finns det en möjlig infiltrationsyta på 24 000 m² samt en höjdskillnad på 9 m. Fosforhalten är beräknad till 0,034 mg/l och kvävehalten är beräknad till 4,1 mg/l. Efter diskussion med Länsstyrelsen Skåne landade projektet i att den lämpligaste pumpen ligger på 4 kW och att man under en begränsad testperiod skulle kunna fortsätta att pumpa vatten ner till 20% av MQ i ån, under förutsättning att det inte sker någon negativ påverkan, även under testperioden. Den resulterande reduktionen hamnar för fosfor på 3,2 kg/år och för kväve 240 kg/år. Den motsvarande miljövinsten uppgår till 573 000 kr och den totala kostnaden uppskattas till 478 000 kr, vilket ger en kvot på ca 1,2.

Det är värt att nämna att infiltrationsytan är långt från den begränsande faktorn, då denna skulle kunna ta emot ca 130 l/s. Begränsningen sätts utifrån mängden vatten som får pumpas upp ur ån.

7.5. Bevattningsvåtmark- soldriven (teoretisk)

Denna teoretiska fallstudie omfattar en bevattningsvåtmark med soldriven bevattning. Den första delen i fallstudien handlar om miljönyttan från den vanliga bevattningen och den andra delen handlar om den ökade miljönyttan om man använder infrastrukturen för att infiltrera mer vatten än vad som behövs för bevattning och utanför perioden för bevattning. Vi ansätter att bevattningsdammen är 10 000 m² stor och 4 m djup.

7.5.1. Miljönytta från bevattning

Den totala mängden vatten för bevattning är 40 000 m³. Fosforhalt antas vara 0,036 mg/l och kvävehalten 4,3 mg/l. Vid bevattning tar växtligheten upp en stor del av vattnet och binder näringsämnena i sin struktur, den del av vattnet som inte binds i växtligheten infiltreras. Den sammanlagda reduktionen uppskattas till 90 %. Detta resulterar i att ca 1,3 kg fosfor och 150 kg kväve reduceras per år, vilket ger ett sammanlagt värde på ca 17 000 kr/år.

7.5.2. Miljönytta från infiltration utöver bevattningsbehov

Utifrån att bevattning sker ca 2,5 månader om året och hur fördelningen av den potentiella vattenpumpningen ser ut över året, uppskattas det att bevattningen står för ca 40 % av den möjliga pumpade volymen vatten. Med tanke på de begränsningar som finns på hur mycket vatten som åkrarna kan ta emot utöver bevattning och regn, uppskattas det att 30 % av den möjliga pumpade vattenvolym kan användas utan att skada åkrarna. Näringsämnen reduceras genom infiltration och uppgår till ca 0,5 kg fosfor och 40 kg kväve per år, vilket ger ett sammanlagt värde på 4 500 kr/år.

7.6. Bevattningsvåtmark- Björnstorp

Denna fallstudie är baserad på faktisk framtida bevattningsvåtmark med nätansluten bevattning i Björnstorp. Den första delen i fallstudien handlar om miljönyttan från den vanliga bevattningen och den andra delen handlar om den ökade miljönyttan om man använder infrastrukturen för att infiltrera mer vatten än vad som behövs för bevattning. Bevattningsdammen rymmer ca 80 000 m³.

7.6.1. Miljönytta från bevattning

Den totala mängden vatten för bevattning är 80 000 m³. Fosforhalt antas vara 0,036 mg/l och kvävehalten 4,3 mg/l. Vid bevattning tar växtligheten upp en stor del av vattnet och binder näringsämnena i sin struktur, den del av vattnet som inte binds i växtligheten infiltreras. Den sammanlagda reningen uppskattas till 90 %. Detta resulterar i att ca 2,6 kg fosfor och 310 kg kväve reduceras per år, vilket ger ett sammanlagt värde på ca 34 000 kr/år.

7.6.2. Miljönytta från infiltration utöver bevattningsbehov

Med tanke på de begränsningar som finns på hur mycket vatten som åkrarna kan ta emot utöver bevattning och regn, uppskattas det att en ytterligare mängd vatten som motsvarar 45 % av

vattenvolym som används för bevattning, kan användas utan att skada åkrarna.¹⁷ Näringsämnen reduceras genom infiltration och uppgår till ca 1 kg fosfor och 80 kg kväve per år, vilket ger ett sammanlagt värde på 9 000 kr/år. Pumpning av ytterligare 36 000 m³ vatten ger en ökad energianvändning på ca 15 500 kWh¹⁸. Vid en kostnad på 1 kr/kWh ger detta en kostnad på 15 500 kr som överstiger miljönyttan på 9 000 kr. Det innebär att denna åtgärd inte är konkurrenskraftig.

8. Slutsatser

Projektet är en teoretisk förstudie för konceptet "offgrid pumplösningar för näringsämnesreduktion". Projektet har kartlagt olika typer av soldrivna pumplösningar och dess mekanismer för reduktion av näringsämnen. Projektet har genomfört fallstudier där olika pumplösningar utvärderats. De beräkningar som har gjorts är baserade på vissa antaganden gällande infiltrationshastighet samt effektivitet av reduktionsmekanismer för kväve och fosfor. Uppskattningen av reduktionseffektiviteten är den faktor som har störst påverkan på den beräknade miljönyttan.

8.1. Slutsatser från fallstudier

1. Pumplösningar kan vara konkurrenskraftiga åtgärder för näringsämnesreduktion.
2. Det finns klara skalfördelar för pumplösningarna.
3. Sandjord är att föredra framför lerjord vid infiltration, både utifrån reduktionseffektivitet och hastighet för infiltration. Typiskt är det dock inte infiltrationshastigheten som är begränsande och den största osäkerheten kring reduktionseffektivitet finns för kväve, där man inte ser en skillnad mellan lera och sand.
4. Vid översilning är avdunstningen ca 1-2 % av den uppumpade mängden vatten i fallstudier.
5. Större pumplösningar ökar påfrestningen på vattenmiljön vilket innebär en begränsning av vattenpumpning, både utifrån mängd vatten för pumpning för vattenverksamhet samt för % av MQ i recipient.
6. De två största begränsande faktorerna för maximering av miljönytta är mängden pumpat vatten från recipienten samt den antagna reduktionseffektiviteten.
7. Det finns behov av analys för specifika platser för att bestämma vilken pumplösning som är lämpligast och hur konkurrenskraftig den är.
8. Beräkningarna pekar på att det inte är konkurrenskraftigt med extra infiltration utöver bevattningsbehov vid nätansluten pumpanläggning för bevattning, det vill säga när den extra pumpningen medför en ökad energikostnad.

8.2. Övriga slutsatser

1. Pumplösningar kan ge ökad biologisk mångfald genom att skapa fuktig jord. Det finns behov av beaktande av biologiska förutsättningar för olika platser.
2. Offgrid pumplösningar ger möjlighet för olika nyttor som näringsämnesreduktion, ökad biologisk mångfald samt möjlighet att etablera nya anläggningar på platser där en klassisk våtmark inte kan anläggas som t.ex. i sluttningar och när vattendrag är långt under marknivå.
3. Pumplösningar kan kombineras med en klassisk våtmark genom att t.ex. anlägga en infiltration/översilning som sluttar ned mot våtmarken.

¹⁷ Se argumentation i fallstudien "Bevattningsvåtmark – Soldriven" i avsnitt 7.5.

¹⁸ Denna siffra baseras på en uppskattning HIR Skånes bevattningsspecialister gjort på energiåtgång vid bevattning som anger 0,39 kWh/m³.

9. Fortsatt arbete

Projektet uppmuntrar ett fortsatt arbete kring offgrid pumplösningar för näringsämnesreduktion.

Frågor som är värda att belysa i ett framtida pilotprojekt är:

1. Effektivitet av rening för olika pumplösningar. Nu råder stor osäkerhet för, framför allt, kvävereduktion. Projektets konservativa beräkningar skulle kunna vara något missvisande och underskatta den faktiska miljövinsten.
2. Påverkan på vattendrag vid användning av pumplösningar. En viktig fråga att belysa är hur stor del av det pumpade vattnet som återförs till recipienten och hur det kan påverka de begränsningar som finns för uttag av vatten.
3. Praktiska svårigheter som uppkommer i samband med anläggning och drift med pumplösningar.
4. Dimensionering av infiltrations- och översilningsbädd utifrån jordmån och dess möjlighet att ta emot vatten.
5. Olika pumplösningars påverkan på biologisk mångfald.

Appendix I – Bakgrund och praktisk information inför installation

1. Offgridlösningar för vattenpumpning

Offgrid eller stand-alone beskriver energilösningar som inte är kopplade till elnätet. Den stora fördelen med offgridsystem är att kunna ha fungerande energilösningar vid platser där det inte är möjligt eller blir för dyrt att ansluta till elnätet. Utöver förläggingskostnader tillkommer det kostnader för abonnemang och energi för anläggningar som är kopplade till nätet, så kallade ongridlösningar. Den stora fördelen med ongridsystem är man har full kontroll över sin pumplösning och inte är väderberoende.

Den simplaste formen av offgrid är direktkopplade system, där den producerade energin används direkt, utan lagring. Avsaknaden av elnät innebär utmaningar kring elektriska storheter som effekt, spänning, frekvens osv. Det är därför viktigt att de olika komponenterna i offgridsystemet är väl integrerade. De lösningar som studeras i denna rapport är för vilka det finns kommersiella helhetslösningar för vattenpumpning.

För direktkopplade offgridsystem för vattenpumpning är sol och vind två förnybara alternativ. Vid vindpumpning drivs en vattenpump mekaniskt av rotorbladen¹⁹. Vid soldriven vattenpumpning skapar solceller elektricitet som driver en vattenpump.

Vinddriven vattenpumpning är designad för att pumpa upp vatten vertikalt, vilket skapar utmaningar för att anpassas till att pumpa upp vatten från en å. Vindkraftstornen är också relativt höga på ca 6–9 meter, vilket ger en större visuell påverkan. Inga distributörer av vinddriven vattenpumpning identifierades i Sverige.

Soldriven vattenpumpning för bevattning utvecklas starkt internationellt som ett alternativ till dieseldriven bevattning, främst utifrån dess låga klimatavtryck och dess möjlighet att elektrifiera landsbygden²⁰. I Sverige finns det distribution av lösningar för soldriven vattenpumpning och flera installationer.

Soldriven vattenpumpning bedöms, sammantaget, som det mest relevanta systemet för pumplösningar för näringsämnesreaktion.

Utöver offgrid soldriven vattenpumpning finns det hybridanläggningar, där man är kopplad till nätet, men har solceller direkt kopplade till pumpsystemet. Fördelen med den typen av lösning är att man får förhållandevis billig energi från solcellerna, samtidigt som du kan säkerställa funktionaliteten även utan sol.

2. Pumpat vatten över säsong och över dag och dess konsekvenser för dimensionering

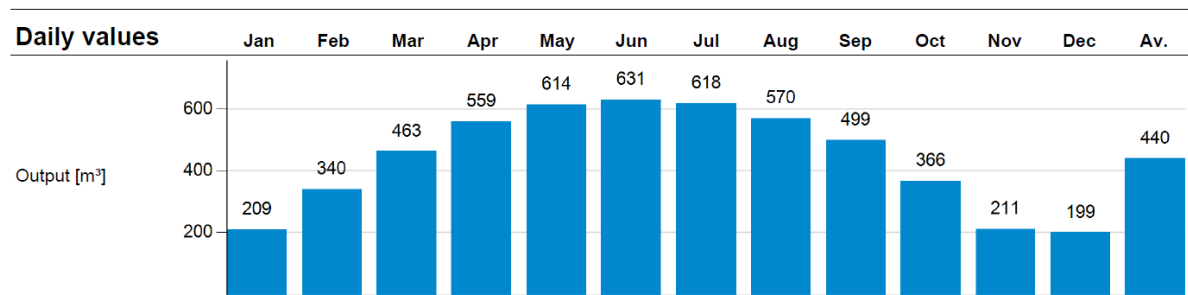
Soldrivna vattenpumpar pumpar vatten som funktion av den inkommande solinstrålningen.

Vattenpumpningen är därför typiskt högst under sommarhalvåret och mitt under dagen.

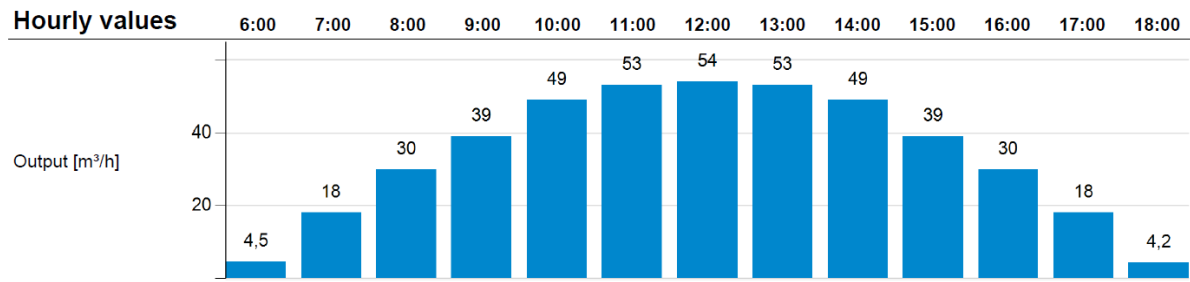
I Figur 3 ser vi att mängden pumpat vatten under sommarmånaderna (maj-jun) är ca 3 gånger större än under vintermånaderna (nov-jan). I Figur 4 ser vi att vatten pumpas ca 13 timmar om dagen, där mängden pumpat vatten på morgonen och eftermiddagen är betydligt lägre än mitt på dagen.

¹⁹ Inga kommersiella system för vinddriven vattenpumpning har identifierats för småskalig vindkraft med elproduktion.

²⁰ Se t ex, <https://www.fao.org/home/en>, Food and Agriculture Organization of the United Nations.



Figur 3. Mängd pumpat vatten per dag för olika månader under året. Källa Naturvårdsingenjörerna (Solpump.se).



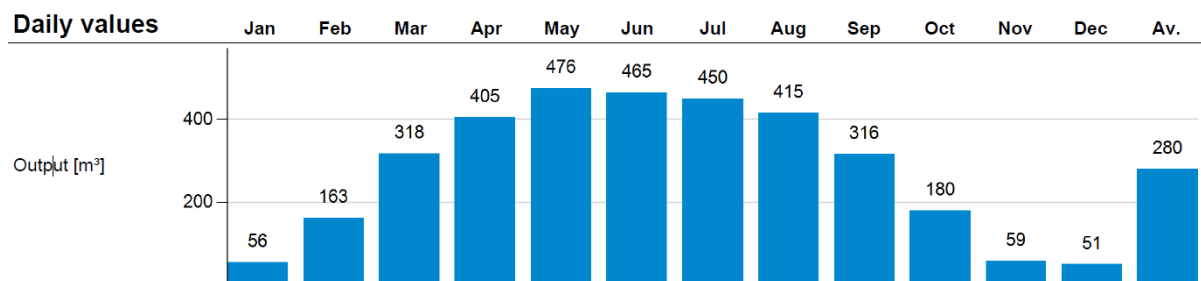
Figur 4. Mängd pumpat vatten per timme en typisk dag. Källa Naturvårdsingenjörerna (Solpump.se).

Vid dimensionering av solcellsinstallationen behöver man ta hänsyn till den effekt som vattenpumpen behöver, utifrån den volym vatten som ska pumpas för en viss höjdskillnad. En given pump behöver ha ett minimum antal solceller för att kunna drivas och det finns även en övre begränsning i hur många solceller man kan koppla in för att säkerställa att spänningen inte blir för hög.

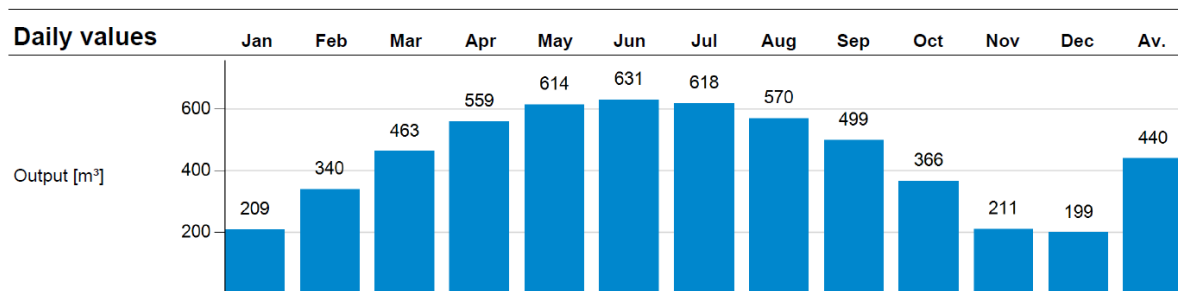
För att maximera pumplösningens totala rening ska volymen pumpat vatten vara så stor som möjligt, i synnerhet under perioden av året med höga vattenflöden, då solelsproduktionen är typiskt lägst. Detta innebär att det optimala är att sätta många solceller som vattenpumpen tillåter. Marginalkostnaden för att sätta extra solpaneler är förhållandevis låg och vägs tydligt upp av den ökade volymen pumpat vatten.

Exempel:

En vattenpump på 4 kW, med en höjdskillnad på 9 m, med en solcellinstallation med 12 solpaneler på totalt 5,5 kW ger i snitt 280 m³/dag och samma pump med en solcellsinstallation med maximala 24 solpaneler på totalt 11 kW ger i snitt 440 m³/dag. Se nedan Figur 5 och Figur 6.



Figur 5. Mängd pumpat vatten per dag för olika månader under året för pump på 4 kW med en installerad solcellseffekt på 5,5 kW. Källa Naturvårdsingenjörerna (Solpump.se).



Figur 6. Mängd pumpat vatten per dag för olika månader under året för pump på 4 kW med en installerad solcellseffekt på 1.1 kW. Källa Naturvårdsingenjörerna (Solpump.se).

Varje solpanel ca $1 \times 2 = 2 \text{ m}^2$, som placeras på ca 35 graders lutning i söderläge, för att maximera solinstrålningen på vintern. I fallet ovan motsvarar solcellsinstallationen en 24 m bred linje med solpaneler.

3. Typer av pumpar

Funktionsmässigt finns det två övergripande typer av vattenpumpar; ytpumpar och dränkbara pumpar. Ytpumpar placeras på land och vattnet går igenom pumpen. De dränkbara pumparna placeras direkt i vattnet och suger in vatten. De dränkbara pumparna har sensorer som säkerställer att man pumpar vatten ner till en viss vattennivå. Det är dränkbara pumpar som är mest lämpliga för de studerade pumplösningarna.

Energimässigt finns det två övergripande typer av vattenpumpar, de som går på likström (DC) och de som går på växelström (AC). Vattenpumparna som går på likström är typiskt mindre, 0,3–4 kW och kräver ett system för att hantera spänning och effekt. Vattenpumpar som går på växelström är typiskt större, 5–100 kW och behöver även en växelriktare till solcellerna. Typiskt är det möjligt att ha hybridssystem med AC vattenpumpar, dvs man kan koppla systemet till nätet för att kunna driva vattenpumpen även då solen inte lyser. Beroende på det flöde man behöver, kan det bli relevant för de studerade pumplösningarna både med mindre DC pumpar och större AC pumpar.

4. Installation av vattenpump

Vid installation av vattenpumpen är det två saker som behöver säkerställas: att vattnet för pumpning är så rent så att risken för igensättning minimeras samt att systemet inte pumpar vatten då det, vid lågflöden, råder begränsning av uttag av vatten från å. Minimera risker samt behovet av underhåll är också viktigt för att få ett robust och konkurrenskraftigt system.

4.1. Rent vatten

För att minimera risken för igensättning är det viktigt att vattnet som pumpas är relativt rent med endast partiklar i mm storlek. Detta kan åstadkommas genom att placera en perforerad stenkista eller brunn i åkanten och lägga större stenar och makadam omkring brunnen. Man kan även placera brunnen en bit från åkanten och lägga ett rör till ån, där mynningen av röret täpps med galler, större stenar och makadam. För att minimera risken att mynningen till röret sätts igen av större saker som grenar osv, kan man gräva ut ett litet dike som rinner baklänges i åriktningen, så att dessa flyter förbi i åfåran. I de fall som det finns höga järnhalter i ån, finns det en risk att järnavlagringar sätter igen inflödet till stenkistan, vilket behöver åtgärdas.

4.2. Garantera minimivattennivå i å

Det är viktigt att kunna garantera att pumplösningen endast tar ut vatten från recipienten när det inte har en negativ påverkan. Begränsningen av möjligheten av att pumpa vatten kommer att ges av en minimivattennivå i ån, under vilken det inte är tillåtet att pumpa vatten. Denna begränsning kan

tillmötesgås med två åtgärder: den första är placering av rör till stenkistan, där underkanten av röret ligger på minimivattennivån, den andra är placeringen av vattenpumpen på miniminivå i stenkistan som motsvarar vattennivån för miniminivån i ån.

4.3. Risker för vattenpumpsinstallation samt behov av underhåll

Det finns flera risker med vattenpumpsinstallationen som behöver minimeras och vissa aspekter behöver följas upp vid det årliga kontroll- och underhållsarbetet för att säkerställa hela installationens funktionalitet.

4.3.1. Kyla

En möjlig risk är att vattenpumpen skadas av att vattnet fryser i brunnen. Denna risk kan minimeras genom att kravsätta i upphandlingen av lösningen att systemet ska klara att vattnet fryser.

4.3.2. Igensättning av sensorer

Vattenpumpens sensorer kan sättas igen och påverka funktionaliteten, då vattenpumpen agerar som om det inte fanns vatten i brunnen. Detta bör följas upp vid det årliga kontroll- och underhållsarbetet.

4.3.3. Igensättning av brunn

Inflödet till brunnen kan påverkas av att den ansamlar partiklar och organiskt material. Detta bör följas upp vid det årliga kontroll- och underhållsarbetet.

4.3.4. Styrsystem och kommunikation

Styrsystem för vattenpump och kommunikation till solcellsinstallation kan falla. Denna risk kan minimeras genom att ha en uppkoppling för fjärrstyrning och övervakning av systemet. Detta bör följas upp vid det årliga kontroll- och underhållsarbetet.

4.4. Placering av solceller

Solpanelerna sätts typiskt på ställningar som förankras i marken. I fallen där pumplösningen anläggs i anslutning till en våtmark med öppen vattenspegel kan solpanelerna placeras i kanten av våtmarken, detta för att förenkla åtkomst av solcellsinstallationen och att solpanelerna inte stör underhållsarbetet av våtmarken. Solcellernas duglighet bör följas upp vid det årliga kontroll- och underhållsarbetet genom okulär kontroll och genom information kring deras produktion.

4.5. Övrigt

Av praktiska skäl, kan det bli relevant att först pumpa vatten till en fördelningsbrunn, från vilken det löper ut infiltrationsrör i lämpliga riktningar som kan förses med ventiler för större kontroll.

Appendix II – Räkneexempel av kostnad och miljönytta för pumplösning med infiltration för Alberta

Beskrivning våtmark			
Höjdskillnad å till våtmark (m)	9		
Avstånd till å (m)	135		
Längd infiltrationsrör	250		
Infiltrationsyta (m ²)	24559		
Infiltrationshastighet (mm/tim)	20		
Möjligt flöde för infiltration (l/s)	136		
Möjligt flöde för infiltration (m ³ /tim)	491		
Flöden	Medianflöde i å (l/s)	Medelflöde PS2 4000 (l/s)	% av flöde i å PS2 4000
Januari	2400	2,4	0,1
Februari	1800	3,9	0,2
Mars	1800	5,4	0,3
April	1000	6,5	0,6
Maj	510	7,1	1,4
Juni	270	7,3	2,7
Juli	230	7,2	3,1
Augusti	170	6,6	3,9
September	200	5,8	2,9
Oktober	320	4,2	1,3
November	1000	2,4	0,2
December	2300	2,3	0,1
Mängd pumpat vatten			
MQ (l/s)	1233		
Minflöde (% av MQ)	Minflöde (l/s)	Månader utan pumpning	Mängd pumpat vatten PS2 4000 (m ³)
20	247	1/2 juli-sep	117030
Halter			
Mängd näringsämnen utifrån belastning på avrinningsområdet			
Total belastning avrinningsområde fosfor (kg/år)	1 339		
Total belastning avrinningsområde kväve (kg/år)	158 188		
MQ (l/s)	1 233		
Total mängd vatten (l/år)	38 883 888 000		
Medelhalt fosfor (mg/l)	0,034		
Medelhalt kväve (mg/l)	4,1		

Rening och värde infiltration			
Effektivitet fosfor infiltration	0,8		
Effektivitet kväve infiltration	0,5		
Mängd renat fosfor infiltration (kg/år)	3,2		
Mängd renat kväve infiltration (kg/år)	238		
Värde renat fosfor infiltration (kr/år)	4 836		
Värde renat kväve infiltration (kr/år)	23 805		
Totalt värde rening infiltration (kr/år)	28 641		
Info pumplösning			
Kostnad pumplösning för infiltration (SEK)	320 000		
Underhåll (kr/år)	7 000		
Abonnemang (kr/år)	3 600		
Livslängd	20		
Tid för abonnemang	5		
Total kostnad	478 000		
Miljövinst			
Total miljövinst 20 % MQ	572 824		
Miljövinst/kostnad pumplösning	1,20		