



UPPSALA
UNIVERSITET



UPTEC W 24009

Examensarbete 30 hp

Maj 2024

En undersökning av näringsretention och kostnadseffektivitet i LOVA- våtmarker

Amanda Johansson





UPPSALA
UNIVERSITET



A study of nutrient retention and cost efficiency in LOVA wetlands

Amanda Johansson

Abstract

Constructed wetlands (CW) are one possible measure to mitigate nitrogen and phosphorus losses from agricultural areas to lakes and oceans, and thereby reduce eutrophication. In this study, CWs financed by a national grant (LOVA) have been studied to evaluate if they have been placed and designed to favor high nutrient retention and if they were cost-efficient. The wetlands were characterized in ESRI GIS program ArcGIS by creating shapefiles for each wetland's water surface and catchment area. By using these along with maps of modelled nutrient load and flow accumulation, wetlands' hydraulic and nutrient load, which are determined by the wetland's placement, were estimated. Nutrient retention was then calculated based on nutrient load and thereafter cost-efficiency with total construction costs and annual costs for land use was estimated. The results from this study showed that the shape and/or placement of most of the wetlands were not favorable for high nutrient retention. Of all the 57 studied wetlands, 56 % had the lowest possible both nitrogen and phosphorus retention, due to low incoming nutrient load. The wetlands were generally large, 58 % of the wetlands' area made up more than 1 % of catchment area which indicate a good condition for high relative retention of nitrogen. Of the 16 wetlands that received a high nitrogen load, only 4 had an area that made up more than 1 % of the catchment area. Only 5 % of the wetlands received an optimal hydraulic load (100 m per year $\pm$ 10 %) for high area-specific retention of phosphorus. Of the eight wetlands that received a high phosphorus retention, only three received the optimal hydraulic load. Furthermore, most of the wetlands were not designed for a high hydraulic efficiency. The overall placements and designs of future wetlands need to be improved to achieve more cost-efficient constructed wetlands.

Keywords: LOVA grant, wetlands, nutrient load, hydraulic load, nutrient retention, hydraulic efficiency, cost efficiency

Department of Aquatic Sciences and Assessment, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Lennart Hjelms väg 9, SE 750 07 Uppsala, Sweden

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala

Handledare: Pia Geranmayeh Ämnesgranskare: Faruk Djodjic

Examinator: Antonio Segalini

Referat

En undersökning av näringsretention och kostnadseffektivitet i LOVA-våtmarker

Amanda Johansson

För att minska läckage av kväve och fosfor från jordbruk till sjöar och vattendrag och därmed minska övergödning, anläggs våtmarker. I den här studien har våtmarker anlagda med hjälp av det statliga LOVA-bidraget undersökts för att bedöma ifall våtmarkerna var placerade och utformade på ett sätt som främjade hög näringsretention samt ifall våtmarkerna hade en hög kostnadseffektivitet. Våtmarkerna undersöktes i ArcGIS genom att skapa shapefiler för varje våtmark och avrinningsområde. Med hjälp av dessa shapefiler, belastningskartor samt modellerad näringsbelastning och flödesackumulering kunde våtmarkernas hydrauliska belastning och näringsbelastning undersökas, och därmed kunde deras placering bedömas. Näringsretention beräknades utifrån våtmarkens näringsbelastning och därefter kunde kostnadseffektiviteten beräknas med hänsyn tagen till totala anläggningskostnader och markanvändningskostnader. Resultatet från studien visade att våtmarkernas form och placering inte var gynnsamma för en hög näringsretention. Av de 57 studerade våtmarkerna hade 50% både den lägsta möjliga kväve- och fosforretentionen till följd av en låg näringsbelastning. Överlag var våtmarkerna stora, 58 % av våtmarkernas area utgjorde mer än 1 % av avrinningsområdets area vilket innebär en god förutsättning för hög relativ kväveretention. 16 våtmarker hade en bra placering för en hög kväveretention och av dessa hade fyra stycken en area som var större än 1 % av avrinningsområdet. Bara 5 % av våtmarkerna mottog en optimal hydraulisk belastning (100 m per år $\pm$ 10 %) för en hög ytspecifik fosforretention. Av de 8 våtmarker som hade en hög fosforretention mottog totalt tre våtmarker en optimal hydraulisk belastning. Våtmarkerna hade inte heller en utformning som medförde en bra spridning på vattnet, det vill säga hög hydraulisk effektivitet. Det här innebär att det finns en stor förbättringspotential för både placering och utformning av anlagda våtmarker för att uppnå högre kostnadseffektivitet.

Nyckelord: LOVA-bidrag, våtmarker, näringsbelastning, hydraulisk belastning, näringsretention, hydraulisk effektivitet, kostnadseffektivitet

Institutionen för vatten och miljö, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), Lennart Hjelms väg 9, SE 750 07 Uppsala, Sverige

Förord

Stort tack för kunskap och vägledning till min handledare Pia Geranmayeh på institutionen för vatten och miljö vid Sveriges Lantbruksuniversitet och min ämnesgranskare Faruk Djodjic även han på institutionen för vatten och miljö vid Sveriges Lantbruksuniversitet.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Övergödning är ett stort problem i svenska hav, sjöar och vattendrag som sker på grund av en ökad mängd näringsämnen i vattnet. Näringsämnena det rör sig om är framförallt kväve och fosfor. Kväve och fosfor är ofta begränsande ämnen i vattenmiljöer där kväve är begränsande i havet och fosfor i sjöar. Det innebär att när mängden kväve och fosfor i vattnet ökar, ökar också tillväxten av alger, plankton och vattenväxter som resultat av detta. De ökade näringshalterna i vattnet kommer från näringsämnena som transporteras ut till sjöar och hav från landskapen. För att stoppa upp näringsämnena anläggs våtmarker. Som ett ekonomiskt incitament för markägare att anlägga våtmarker finns statliga bidrag. I den här studien undersöktes våtmarker som anlagts med hjälp av LOVA-bidrag (Lokala vattenvårdsprojekt).

För att anlägga en våtmark som effektivt renar det inkommande vattnet på kväve och fosfor behöver den anläggas med både bra placering och utformning. En våtmark som är bra placerad tar emot höga halter näringsämnen och en mängd vatten som passar våtmarkens storlek. Mängden näringsämnen i landskapet varierar, generellt läcker det mer näring från jordbruksmark än från skogen. Därför tar våtmarkerna emot olika näringsbelastning beroende på var i landskapet våtmarkerna är placerade. En bra placerad våtmark borde kunna rena över 500 kg kväve och 50 kg fosfor per hektar våtmarksyta och år. En våtmark som är väl utformad bör ha ett så långt avstånd som möjligt mellan in- och utloppet för att allt det vatten som flödar genom våtmarken ska kunna flöda genom hela våtmarksytan. Storleken har också en betydelse, en area som utgör minst 1% av avrinningsområdets area är bra för att rena en stor andel av den inkommande belastningen. En mindre våtmark kan vara fördelaktig för att uppnå en högre mängd renat näringsämne per areaenhet.

Huruvida våtmarkerna var bra placerade och utformade undersöktes i kartverket ArcGIS. Våtmarkerna ritades ut i ArcGIS utifrån flygfoton, med in- och utlopp enligt erhållna koordinater. När våtmarkerna ritats ut kunde deras area och placering användas för att ta fram filer för både våtmarkernas avrinningsområden, det ackumulerade vattenflödet samt kväve- och fosforbelastning i avrinningsområdet. Utifrån dessa filer var det möjligt att beräkna hur mycket vatten och näringsämnen som flödade in i våtmarken. Beräkningarna utfördes för 57 våtmarker.

De våtmarker som hade en stor mängd inkommande näringsämnen bedömdes ha en bra placering. Endast 16 våtmarker renade över 500 kg kväve per hektar våtmarksyta och endast 8 våtmarker renade över 50 kg fosfor per hektar. Majoriteten av våtmarkerna hade alltså inte en bra placering där de mottog en hög näringsbelastning.

För att bedöma ifall våtmarkernas utformning var bra finns det flera faktorer att ta hänsyn till. Av de 16 våtmarker som hade en placering med hög kvävebelastning hade endast fyra av dem en

area som utgjorde mer än 1 % av avrinningsområdets area och därmed hade bra storlek för hög relativ kväveretention.

Av de åtta våtmarkerna som hade en bra placering för hög fosforretention var det endast tre som mottog en bra mängd vatten i förhållande till sin storlek för en hög fosforretention. För endast fyra av de åtta våtmarkerna var matjorden bortgrävd. Att gräva bort matjorden vid anläggning av en våtmark på näringsrik jordbruksmark minskar risken att våtmarken blir en fosforkälla, dvs att mer fosfor läcker ut i landskapet.

För att det ska vara ekonomiskt gynnsamt att anlägga en våtmark vill man att den ska rena så mycket kväve och fosfor som möjligt i förhållande till hur mycket den kostar att anlägga. Det måttet kallas våtmarkens kostnadseffektivitet. Resultaten från den här studien visar att majoriteten av våtmarkerna kostade mycket att anlägga i förhållande till hur mycket näring de renade, de hade således en låg kostnadseffektivitet.

Överlag, med vissa undantag, var våtmarkerna i den här studien varken väl placerade eller utformade för att rena en stor mängd näringsämnen. Våtmarkerna var inte heller kostnadseffektiva. Våtmarker anlagda för att minska utsläpp av näringsämnen till vattenmiljön uppfyllde inte sitt syfte. Det tyder på att det statliga LOVA-bidraget inte utnyttjats optimalt. För att LOVA-bidraget ska göra större nytta bör framtida våtmarker i första hand placeras där de mottar en högre näringsbelastning.

Innehållsförteckning

Referat.....	3
Förord	4
Populärvetenskaplig sammanfattning	5
1. Introduktion	1
1.1 Bakgrund	1
1.2. Syfte och frågeställning	3
1.2.1. Syfte	3
1.2.2. Frågeställningar	3
2. Teori	3
2.1. Våtmarker som åtgärd för minskad övergödning.....	3
2.2. Faktorer som påverkar näringsretention	4
2.2.1. Placering	4
2.2.2. Utformning	5
3. Metod och material	6
3.1 Undersökta våtmarker	6
3.2 GIS.....	9
3.2.1. Framtagning av shapefiler	9
3.2.2. Beräkning av avrinningsområden	9
3.3. Beräkningar.....	10
3.3.1. Hydraulisk form	10
3.3.2. Relativ storlek.....	10
Som ett mått på våtmarkens storlek dividerades våtmarksarean med arean på avrinningsområdet. Det gav ett jämförbart värde för våtmarkernas storlek (% av avrinningsområdet).	10
3.3.3. Hydraulisk belastning	10
3.3.4. Näringsbelastning	11
3.3.5. Viktat avstånd från inflöde till utlopp	12
3.3.6. Potentiell näringsretention	12
3.3.7. Beräkning av kostnadseffektivitet	13
4. Resultat	13
4.1 Placering	13
4.2 Utformning	17
4.2.1. Storlek	17
4.2.2. Form	20

4.3. Kostnadseffektivitet	21
5. Diskussion	22
5.1. Placering.....	22
5.2. Utformning	23
5.2.1. Storlek	23
5.2.2. Form.....	24
5.3. Kostnadseffektivitet	25
5.4. Felkällor och begränsningar.....	26
6. Slutsats	28
7. Referenser	29
Appendix A. Kartor över våtmarker	32

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

Övergödning är den process som uppstår när det finns för mycket näringsämnen i sjöar och hav (Arneborg & Gustafsson 2020a). De näringsämnen som framför allt bidrar till övergödning är kväve (N) och fosfor (P). Kväve är det näringsämne som begränsar tillväxt i hav och fosfor det som begränsar tillväxt i sjöar (Walve & Rolff u.å.). Resultatet av för höga halter av dessa näringsämnen är att mängden fintrådiga alger och växtplankton ökar, och algbloomning uppstår. Övergödningen bidrar till en ökad tillväxt av växter, alger och växtplankton, vilket innebär en ökad tillväxt i hela näringskedjan. När dessa dör faller de ner till botten där de bryts ned, vilket är en mikrobiell process som förbrukar syre (Arneborg & Gustafsson 2020b). En ökad mängd biologiskt material som ska brytas ned leder till att det går åt mer syre. Den ökade åtgången av syre kan bidra till att det blir syrebrist på botten och på sikt leda till helt utarmade bottenområden (Arneborg & Gustafsson 2020b). Övergödning är ett stort problem i svenska vattendrag och det är allra störst i södra Sverige. Under de senaste somrarna har det skett en ökning av algbloomning vid svenska badplatser. Svenska kommuner varnar för bad vid algbloomning, och avråder speciellt från bad för barn och hundar som är extra känsliga mot de toxiner som algbloomning producerar (Havs och vattenmyndigheten u.å.). De senaste 40 åren har algbloomningen börjat allt tidigare (Jönsson 2020). Nu börjar algbloomningen, som tidigare började mot slutet av juli och augusti, redan runt midsommar.

De förhöjda koncentrationerna av kväve och fosfor kommer från industrier, dagvatten, enskilda avlopp, reningsverk och jordbruk (Gyllström et al. 2019). Jordbruket är den näringskälla som står för det största utsläppet av näringsämnen från land. För att minska övergödningen i hav och sjöar behöver fosfor- och kväveläckaget reduceras vid källan (Johansson 2022). Det är möjligt att minska utsläppet av näringsämnen till sjöar och hav genom att bland annat anlägga skyddszoner längs vattendrag, återskapa våtmarker, anlägga tvåstegsdiken eller strukturkalkning.

När Sveriges befolkning växte kraftigt under 1800-talet torrlades och dikades många våtmarker ut för att öka matproduktionen; exempelvis försvann upp emot 90% av all

våtmarksyta på Gotland (Riksantikvarieämbetet 1996). I decennier har det funnits ett systematiskt arbete för att minska läckage av kväve och fosfor från jordbruket (Kyllmar et al. 2020). Arbetet inkluderar återställandet av vattendrag och våtmarker som är viktiga näringsfällor. Det är idag möjligt för den markägare som vill anlägga en våtmark att få statlig ersättning för delar av kostnaden (Wahlström et al. 2007). Det finns flera olika finansieringsmöjligheter vid anläggning av våtmarker; exempelvis Lokal naturvårdssatsning (LONA), Landsbygdsprogrammet (LBP) och Lokala vattenvårdsprojekt (LOVA). LOVA-åtgärder innefattar de lokala åtgärder som genomförs för att förbättra havs- och vattenmiljö (Länsstyrelsen Västra Götaland u.å.). Kommuner och ideella föreningar kan söka LOVA-bidrag för projekt som rör övergödning, minskade miljögifter från fritidsbåtar, förlorade fiskredskap samt åtgärder som bidrar till vattens goda ekologiska eller goda miljöstatus. LOVA-bidraget kan täcka upp till 90 % av kostnaderna för åtgärder som bidrar till minskad övergödning.

Enligt Havs- och vattenmyndighetens vägledning för ansökan om LOVA-bidrag, ska ansvarig länsstyrelse granska inkomna ansökningar för övergödningens åtgärder utifrån hur effektivt projekten bidrar till minskade mängder av kväve och fosfor i relation till åtgärdsbehoven (Havs och Vattenmyndigheten n.d.). I ansökan ska även bifogas en rimlighetsbedömning av vilka resultat och effekter som kan uppnås samt en bedömning av projektets kostnadseffektivitet. På Havs och Vattenmyndighetens hemsida saknas det dock tydliga riktlinjer för hur en LOVA-våtmark ska anläggas för att vara effektiv (Havs och Vattenmyndigheten 2023). Det finns inte heller tydliga riktlinjer för hur länsstyrelsen bedömer ett projekts kostnadseffektivitet.

Våtmarker kan bidra till att en lägre andel näringsämnen når vattendragen genom att rena det inkommande vattnet på näringsämnen (näringsretention). En våtmarks näringsretention bestäms av flera faktorer (Audet et al. 2020; Djodjic et al. 2020). Bland annat påverkas våtmarkernas förmåga att rena näringsämnen av dess storlek i förhållande till avrinningsområdet (Audet et al. 2020). Våtmarkens näringsretention påverkas även av hur stora mängder näringsämnen och vatten som når våtmarken (Djodjic et al. 2020); vilket är dess näringsbelastning och hydrauliska belastning. Våtmarkens näringsretention påverkas också av huruvida matjord tagits bort eller ej. För att framtida våtmarker ska kunna rena så mycket näringsämnen som möjligt är det viktigt att de placeras och utformas på ett lämpligt sätt (Djodjic et al. 2022). En väl utformad våtmark har ett långt avstånd mellan in- och utlopp

samt en area som kan utnyttjas av det genomflödande vattnet, det vill säga att den är hydrauliskt effektiv (Nilsson et al. 2023).

1.2. Syfte och frågeställning

1.2.1. Syfte

I den här studien undersöktes ifall de LOVA-våtmarker som anlagts mellan 2017 och 2022 har en bra placering och utformning för att möjliggöra en hög näringsretention. Syftet var att utvärdera våtmarkernas kostnadseffektivitet genom att beräkna hur mycket vatten och näring våtmarkerna mottar och därmed uppskatta näringsreningen för att bedöma våtmarkernas förutsättning för hög näringsretention. Målsättningen är att i framtiden kunna skapa mer kostnadseffektiva våtmarker. Med kostnadseffektivitet menas hur mycket våtmarkerna kostat att anlägga i förhållande till hur mycket kväve och fosfor som renats, och kan uttryckas i form av kr per kg N eller P.

1.2.2. Frågeställningar

1. Har de våtmarker som anlagts mellan 2016 och 2022 en bra placering för hög näringsretention?
2. Är våtmarkerna utformade för en hög näringsretention?
 - Är våtmarkerna utformade på ett sätt som främjar hydraulisk effektivitet?
 - Vilken hydraulisk belastning mottar våtmarkerna?
3. Har våtmarkerna en hög kostnadseffektivitet?

2. Teori

2.1. Våtmarker som åtgärd för minskad övergödning

En av de åtgärder som används för att minska övergödningen i svenska vattendrag är att återskapa fler våtmarker (Weisner et al. 2015). Våtmarker agerar näringsfällor i landskapet (Land et al. 2016) och sänker vattenhastigheten så att naturliga reningsprocesser, som till exempel sedimentation (P), denitrifikation (N) och växtupptag (N och P), hinner ske (Lagerkvist 2004). Kväveförlusterna från jordbruksområden innehåller mest nitratkväve. I

våtmarker omvandlas nitrat till kvävgas genom en mikrobiell process som kallas denitrifikation och transporteras sedan till atmosfären (Lagerkvist 2004; Nilsson et al. 2023). Våtmarksväxterna kan ta upp näringsämnen både från vattenmassan och sedimentet, vilket innebär att koncentrationen näringsämnen minskar när växternas tillväxt ökar. Dock är de upptagna näringsämnena inte permanent avlägsnade då näringsämnena frigörs till vattenmassan när växterna dör (Lagerkvist 2004). I jordbruksområden är sedimentation en viktig process för att rena vattnet på partikelbunden fosfor, som sjunker till våtmarkens botten (Johannesson et al. 2015). Större partiklar, exempelvis sand, sjunker snabbare än lättare partiklar, som exempelvis lerpartiklar. För att sedimentation ska vara möjligt krävs det att vattnets uppehållstid i våtmarken är så lång och vattenhastigheten så låg att partiklarna hinner sedimentera.

2.2. Faktorer som påverkar näringsretention

2.2.1. Placering

Den faktor som i största mån påverkar våtmarkens näringsretention är våtmarkens inkommande vattenvolym och näringsbelastning (Land et al. 2016; Mendes 2021; Djodjic et al. 2022). Mängden näringsämnen som kommer in i våtmarken beror på volymen vatten som flödar in i våtmarken samt hur hög näringshalten i vattnet är. Våtmarkers effektivitet i att rena näringsämnen beror alltså till stor del på dess placering. Näringsbelastning är den mängd kväve eller fosfor som transporteras in i en våtmark per area- och tidsenhet (Persson & Wittgren 2003). För att maximera mängden näring som kan avlägsnas från en våtmark bör den placeras där näringsbelastningen är högst (Djodjic et al. 2020). Detta är ofta nedströms brukad jordbruksmark. En våtmark som placerats bra bör kunna rena upp mot 1000 kg N och 100 kg P per hektar och år (Weisner et al. 2015). Weisner et al. (2015) menar att en våtmark som anlagts med en lägre genomsnittlig belastning bör kunna uppnå en retention på minst 500 kg N och 50 kg P per hektar och år.

Om en våtmark anläggs direkt på åkermark finns det risk för fosforläckage (Land et al. 2016). En anledning till detta är att jordar som odlats under en lång tid kan ha byggt upp ett lager fosfor som frigörs när våtmarken skapas. Våtmarker som återskapas eller konstrueras direkt på åkermark kan därför vara mindre effektiva vid rening av fosfor än våtmarker som inte är

anlagda direkt på åkermark (Land et al. 2016). Detta kan förebyggas genom att gräva bort lagret med matjord.

2.2.2. Utformning

Våtmarkens storlek i förhållande till avrinningsområdets storlek påverkar vattenflödet genom våtmarken, vilket i sin tur påverkar våtmarkens möjlighet till näringsretention (Djodjic et al. 2020). I alltför stora våtmarker (i förhållande till deras tillrinningsområden) är det svårt att nå hög areaspecifik näringsbelastning (kg N eller P per ha våtmark), medan i små våtmarker blir vattnets uppehållstid alltför kort för att kunna nå hög areaspecifik retention. Av den anledningen är det viktigt att dimensionera våtmarker i förhållande till avrinningsområdets storlek (Mendes 2021). En relativ kväveretention mellan 40 och 45 % är möjlig när våtmarkens area utgör 1 % av avrinningsområdet och 50 % när våtmarksarean utgör 4 %. Därefter sker endast en liten ökning av kväveretention vid ökad relativ storlek. Med relativ retention menas här andelen av den inkommande belastningen som renas i våtmarken (Nilsson et al. 2023).

Våtmarkens storlek påverkar också våtmarkens hydrauliska belastning (m år^{-1}) vilket är våtmarkens inkommande vattenflöde ($\text{m}^3 \text{år}^{-1}$) delat med våtmarkens area (m^2) (Nilsson et al. 2023). En ökad hydraulisk belastning ökar vattnets hastighet i våtmarken, och kan öka spridningen av vattnet och därmed spridningen av syret i våtmarken (Persson & Wittgren 2003). Våtmarkers kväveretention har en positiv korrelation till våtmarkens hydrauliska belastning (Nilsson et al. 2023). Även våtmarkens fosforackumulation ökar med en ökad hydraulisk belastning upp till en viss gräns (Kynkäänniemi 2014). En hög hydraulisk belastning bidrar även till en kortare uppehållstid för vattnet i våtmarken. Upp till 120 m år^{-1} finns det en positiv korrelation mellan fosforretention och hydraulisk belastning (Kynkäänniemi 2014). Därför kan en våtmark antas ha optimal hydraulisk belastning (HL) där $\text{HL} = 100 \text{ m år}^{-1} \pm 10 \%$ (Djodjic et al. 2020).

Även en våtmarks form påverkar hur länge vattnet uppehåller sig i våtmarken och därmed möjligheten för rening. Hydraulisk effektivitet är ett mått på hur mycket av våtmarksarean som vattnet sprids på. En hög hydraulisk effektivitet ökar därmed kväveretentionen (Nilsson et al. 2023). Den hydrauliska effektiviteten brukar öka med en ökad längd till bredd kvot, eftersom det minskar ytor där vattnet inte sprids (döda zoner). En effektiv våtmark har långt mellan in- och utlopp och är utformad så att vattnet transporteras genom hela våtmarken.

Alltså är en långsmal våtmark med in- och utlopp placerade på varsin kortsida mer effektiv än en våtmark där in- och utloppen är placerade på långsidorna.

3. Metod och material

3.1 Undersökta våtmarker

I den här studien har 67 stycken LOVA-våtmarker som är lokaliserade i elva olika län undersökts (Tabell 1). Majoriteten av våtmarkerna (58 %) är anlagda i Skåne, medan resterande län endast har 1–5 våtmarker vardera. Våtmarkerna var de våtmarker som anlades mellan åren 2016 och 2021 med hjälp av LOVA-bidrag.

Tabell 1. Länsvis fördelning av de studerade våtmarkerna.

Län	Våtmarks-ID	Antal
Stockholm	AB	3
Västerbotten	AC	1
Södermanland	D	1
Östergötland	E	3
Jönköping	F	4
Kalmar	H	5
Gotland	I	3
Blekinge	K	3
Skåne	M	39
Västra Götaland	O	4
Gävleborg	X	1

Våtmarkerna i studien anlades med sju olika syften (Tabell 2). I tabellen framgår det att en stor andel (56 %) våtmarker anlagts med syftet ”näringsretention”. Alla de studerade våtmarkerna anlagda i Jönköpings län anlades med syftet fosforretention, våtmarkerna anlagda i Gotlands län anlades med syftet lekplats för gädda och våtmarkerna i Västra Götalands län anlades med syftet kväveretention (Tabell 1 & Tabell 2). I övrigt har våtmarkerna anlagts med varierande syften i länen.

Tabell 2. Syftena i vilka våtmarkerna anlades, huruvida matjorden tagits bort och ifall våtmarkerna mottar hela vattenflödet. För tomma celler saknas information.

Våtmarks-ID	Primärt syfte	Sekundärt syfte	Matjord borttagen	Andel inlett flöde
AB1	Fosforretention	Biologisk mångfald; Fiskföryngring och fisklek.	Ja	
AB3			Nej	
AB4			Nej	
AC1	Flödesdämpning		Nej	
D1	Flödesdämpning		Ja	
E1	Näringsretention	biologisk mångfald	Ja	Allt
E3	Näringsretention	biologisk mångfald	Ja	Allt
E7	Näringsretention	biologisk mångfald	Ja	Allt
F1	Fosforretention	Flödesdämpning	Ja, områden med matjord kan svämmas över vid högvatten	Allt
F2	Fosforretention	Biologisk mångfald	Ja, områden med matjord kan svämmas över vid högvatten	Allt
F3	Fosforretention	Biologisk mångfald	Ja, områden med matjord kan svämmas över vid högvatten	Allt
F5	Fosforretention	Flödesdämpning	Nej	Allt
H4	Fosforretention	Kväveretention	Ja	Allt utom vid höga flöden
H5	Fosforretention	Kväveretention, Biologisk mångfald	Nej, men borde inte finnas näringsrik matjord	Allt
H6	Näringsretention	Biologisk mångfald	Ja	Allt
H7	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
H8	Bevattnings	Näring	Nej	
I1	Lekplats för gädda	Näringsretention	Nej	
I2	Lekplats för gädda	Näringsretention	Nej	Allt
I3	Lekplats för gädda	Fågellokal	Nej	Allt
K1	Näring	Gäddvåtmark	Vissa partier har schaktats bort, men inte alla	
K2	Bevattnings	Näringsrening	Ja	
K3	Näringsretention	Biologisk mångfald	Ja	
M3	Bevattnings	Näringsretention	Ja	
M4	Biologisk mångfald		Ja	Allt
M5	Biologisk mångfald		Nej	Allt
M6	Biologisk mångfald	Näringsretention	Ja	Allt

Våtmarks-ID	Primärt syfte	Sekundärt syfte	Matjord borttagen	Andel inlett flöde
M7	Biologisk mångfald	Näringsretention, Vattenreservoir	Nej	
M8	Näringsretention	Biologisk mångfald	Ja	
M9	Biologisk mångfald	Näringsretention	Nej	Allt
M10	Biologisk mångfald	Näringsretention	Ja	
M11	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	
M12a	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M13	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M14	Näringsretention	Biologisk mångfald, flödesutjämning	Nej	Allt
M15	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M16	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M17	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M18	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M19	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M20	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M21	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M22	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M23	Biologisk mångfald	Näringsretention	Nej	Allt
M25	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	
M26	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	
M27	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	
M28	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	
M29	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M30	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M31	Näringsretention	Flödesdämpning	Nej	Allt
M32	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M33	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M34	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	
M35	Näringsretention	Biologisk mångfald	Ja	
M36	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	
M37	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	
M38	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M39	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M40	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M41	Näringsretention	Biologisk mångfald	Nej	Allt
M42	Näringsretention	Biologisk mångfald	Ja	
O2	Kväveretention	Biologisk mångfald		Allt
O3	Kväveretention	Biologisk mångfald		Allt
O4		Bevattnings		
O5	Kväveretention	Biologisk mångfald	Ja	Allt

Våtmarks-ID	Primärt syfte	Sekundärt syfte	Matjord borttagen	Andel inlett flöde
X3				

3.2 GIS

3.2.1. Framtagning av shapefiler

Ett excel-dokument med information om våtmarkerna tillhandahölls av Havs- och vattenmyndigheten. Informationen innehöll bland annat våtmarkernas in- och utloppskoordinater, våtmarkernas areor, kostnader, anläggningsår och plats.

Shapefiler med våtmarkernas in- och utloppspunkter och vattenyta skapades utifrån de koordinater som fanns angivna i det tillhandahållna excel-dokumentet samt flygfoton i ArcGIS. En shapefil är ett filformat i vektorform som lagrar plats, form och andra geografiska egenskaper (Esri u.å.). För att skapa shapefiler för våtmarkernas utbredning användes lantmäteriets ortofoton från 2021 och 2022 som hämtades via SLU:s GET-tjänst. De ortofoton som togs år 2023 fanns ännu inte tillgängliga på tjänsten. I de fall då öar förekom i våtmarken skapades en kant runt ön med två kanter precis intilliggande varandra som korsade våtmarken för att kunna utesluta öns area ur våtmarkens area. Arean, exklusive öar, beräknades genom att beräkna geometrin i ArcGIS. In- och utlopp skapades genom att placera punkter enligt angivna koordinater.

3.2.2. Beräkning av avrinningsområden

Avrinningsområdets storlek bestämdes genom att flödesackumulationslinjer skapades från tillhandahållna flödesriktningsfiler i ArcGIS. Detta gjordes genom att flödesriktningsfilerna först omvandlades till Int-lager med hjälp av Int-verktyget i ArcGIS och sedan med verktyget Flow accumulation. Pour points, punkter som avgränsar ett flöde, placerades på de flödeslinjer som såg ut att avvattna störst område samt de som stämde bäst överens med in- och utloppen för att avgränsa avrinningsområdet. För att kunna subtrahera den area som inte skulle räknas in, placerades pour points på flödeslinjen där arean skulle avgränsas.

3.3. Beräkningar

3.3.1. Hydraulisk form

Våtmarkernas hydrauliska form beräknades med hjälp av ekvation 1. Den hydrauliska formen reflekterar våtmarkens längd:bredd kvot samt tar hänsyn till inloppets och utloppets position (Nilsson et al. 2023). I ekvationen representerar d vattnets transportsträcka från inlopp till utlopp. Detta avstånd beräknades med hjälp av ArcGIS linjalfunktion. A är våtmarkens totala vattenyta.

$$\text{wetland hydraulic shape} = \frac{d(m)}{\sqrt{A}(m)} \quad (1)$$

Ett högt värde för den hydrauliska formen indikerar att våtmarken har en lång form med en bra placering av in- och utlopp i våtmarken som ger en lång transportsträcka där en stor del av arean kan utnyttjas (Nilsson et al. 2023). Detta bör indikera hydraulisk effektivitet.

3.3.2. Relativ storlek

Som ett mått på våtmarkens storlek dividerades våtmarksarean med arean på avrinningsområdet. Det gav ett jämförbart värde för våtmarkernas storlek (% av avrinningsområdet).

3.3.3. Hydraulisk belastning

Förutom att beräkna våtmarkernas relativa storlek i förhållandet till avrinningsområdet, uppskattades den hydrauliska belastningen. För att beräkna den totala inkommande vattenvolymen som våtmarkerna mottar ($m^3 \text{ år}^{-1}$) användes belastningskartor för ackumulerad hydraulisk belastning (Appendix A). Våtmarkernas hydrauliska belastning beräknades genom att dela våtmarkens inkommande vattenvolym ($m^3 \text{ år}^{-1}$) med våtmarkens area (m^2), enligt ekvation (2) (Djodjic et al. 2022; Nilsson et al. 2023). Då blev den hydrauliska belastningen ett årsvärde angett i meter. Den totala inkommande vattenvolymen beräknades genom att addera all inkommande vattenvolym.

$$HL(m \text{ år}^{-1}) = \frac{\text{inkommande vattenflöde } (m^3 \text{ år}^{-1})}{\text{area } (m^2)} \quad (2)$$

3.3.4. Näringsbelastning

För att beräkna våtmarkernas näringsretention användes ackumuleringsfiler med modellerad hydraulisk och näringsbelastning (Geranmayeh et al. 2024). Filerna var i form av ett rutnät där varje ruta hade ett värde för ackumulerad vattenvolym, fosforbelastning eller kvävebelastning. Våtmarkernas totala näringsbelastning beräknades genom att addera all inkommande näringsbelastning från alla inflödespunkter. Inflödespunkterna var varje punkt vid vilken en signifikant mängd vattenvolym och näringsbelastning transporterades in i våtmarken. För att lättare urskilja vilka inflöden i våtmarken som var av betydande storlek användes ArcGIS lagerfunktion "klassificering" där data delades in i grupper inom lika stora värdeintervall (en fjärdedel av standardavvikelsen). Längs våtmarkens kant valdes sedan de rutorna med högst värden, vilka visades genom blå linjer (se Appendix A). En ljusare blå innebar en högre belastning. Flera inflödespunkter valdes beroende på hur inflödet i våtmarken såg ut (Figur 1). I våtmark M9 valdes fem inflödespunkter (Figur 1). Näringsbelastningen antecknades sedan i ett excel-dokument tillsammans med avstånden från inflödespunkterna till utloppet. Inloppet, som var angivet i projektbeskrivningarna, valdes alltid som inflödespunkt. Det var möjligt att beräkna näringsbelastning för 57 av våtmarkerna.



Figur 1. Våtmark M9 och våtmarkens inflöden där inkommande belastning ges av blåa pixlar. Den gröna punkten är inloppet och den gula är utloppet.

3.3.5. Viktat avstånd från inflöde till utlopp

Våtmarkerna hade ett stort inflöde av vatten från sidorna både högt upp och långt ner i våtmarkerna och inte bara vid inloppet. I flera av våtmarkerna transporterades stora delar av vattnet in i våtmarken väldigt nära utloppet. Då var inte avståndet mellan in- och utlopp representativt för hur långt näringsämnen transporterades inuti våtmarken. För att ta reda på hur långt 1 kg näringsämne (per hektar och år) i genomsnitt transporterades i våtmarken beräknades ett viktat medelvärde för transportsträckan (d_{viktat}). Medelvärdet för transportsträckan blev proportionerligt till hur mycket vatten som transporterades från inflödespunkterna. Det viktade medelvärdet för avståndet beräknades med hjälp av ekvation (3) nedan.

$$d_{viktat} (m) = \frac{\sum (d \cdot N_{belastning}) (m \cdot kg \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1})}{\sum N_{belastning} (kg \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1})} \quad (3)$$

3.3.6. Potentiell näringsretention

Den uppskattade totala belastningen ($kg \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$), inräknat belastningen från sidorna, användes för att beräkna potentiell näringsretention med följande ekvationer enligt Geranmayeh et al. (Under förberedelse). Ekvation (4) användes för att beräkna våtmarkens kväveretention, som beräknas i $kg \text{ N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, och ekvation (5) för att beräkna våtmarkens fosforretention som anges i $kg \text{ P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$.

$$N_{ret} = 266,24 \cdot \ln(N_{bel}) - 1646,3 \quad (4)$$

$$P_{ret} = 33,68 \cdot \ln(P_{bel}) - 119,71 \quad (5)$$

Våtmarkernas kväveretention beräknades med hjälp av ekvation (4) om våtmarkens belastning låg mellan 494 och 50 000 $kg \text{ N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, som var belastningsintervallet för våtmarkerna i studien av Geranmayeh et al. (Under förberedelse). Våtmarker i den här studien med en belastning under 494 $kg \text{ N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ fick därför ett retentionsvärde på 5 $kg \text{ N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ och våtmarker med en belastning över 50 000 $kg \text{ N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ fick ett retentionsvärde på 1234 $kg \text{ N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Samma princip gällde vid beräkningen av fosforretentionen. De våtmarker som hade en fosforbelastning under 35,5 $kg \text{ P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ eller över 817 $kg \text{ P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ fick ett retentionsvärde på 0,5 $kg \text{ P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ respektive 106 $kg \text{ P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Dessa värden kommer härnäst kallas för ”gränsvärden”.

3.3.7. Beräkning av kostnadseffektivitet

En våtmarks totala kostnad är summan av kostnaden för att anlägga våtmarken samt en årlig kostnad för brukandet av marken (Djodjic et al. 2022). I enlighet med Mårtensson et al. (2020) användes ett medelvärde för arrendekostnad av jordbruksmark som kostnad för markanvändning. Det medelvärde för arrendekostnad som användes var det medelvärde framtaget av Jordbruksverket (2011), medelvärden för arrenden med avgift år 2010. Arrendekostnaden per år blev då för våtmarker i Stockholms, Södermanlands och Östergötlands län 1357 kr/ha; för Jönköpings, Kalmar och Gotlands län 985 kr/ha; för Blekinges och Skånes län 3031 kr/ha; och för Västra Götalands län 1372 kr/ha (Enhäll 2011).

Våtmarkernas kostnadseffektivitet (kr kg^{-1}) beräknades enligt ekvation (6). Den totala kostnaden togs fram genom att addera anläggningskostnaden och den totala markanvändningskostnaden för våtmarken. När uppgifter fanns användes den totala anläggningskostnaden, annars användes konstruktionskostnaden. Den totala kostnaden delades sedan på den förväntade näringsretentionen ($\text{kg ha}^{-1} \text{år}^{-1}$) (Djodjic et al. 2022). I enlighet med Djodjic et al. antogs våtmarkernas livslängd vara 20 år. Därför delades anläggningskostnaden med 20 år för att få en årlig anläggningskostnad. Kostnadseffektiviteten beräknades för kväve eller fosfor vara 25 % av de totala kostnaderna delat med kväve- eller fosforretentionen (Djodjic et al. 2022).

$$\text{Kostnadseffektivitet} \left(\frac{\text{kr}}{\text{kg}} \right) = \frac{\frac{\text{Anläggningskostnad (kr)}}{\text{Area} \cdot 20 (\text{ha} \cdot \text{år})} + \text{Markanvändningskostnad} \left(\frac{\text{kr}}{\text{ha} \cdot \text{år}} \right)}{\text{Näringsretention} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha} \cdot \text{år}} \right)} \cdot 0,25 \quad (6)$$

4. Resultat

4.1 Placering

Det var möjligt att beräkna kväve- och fosforretention för 57 av de 67 våtmarker som anlagts med LOVA-bidrag (Figur 2). För de övriga tio saknades belastningsfiler. Av de 57 våtmarkerna hade 57 % av våtmarkerna en antagen belastning under lägsta gränsvärdet för kväve och därför en kväveretention på $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{år}^{-1}$; 69 % hade en fosforbelastning under

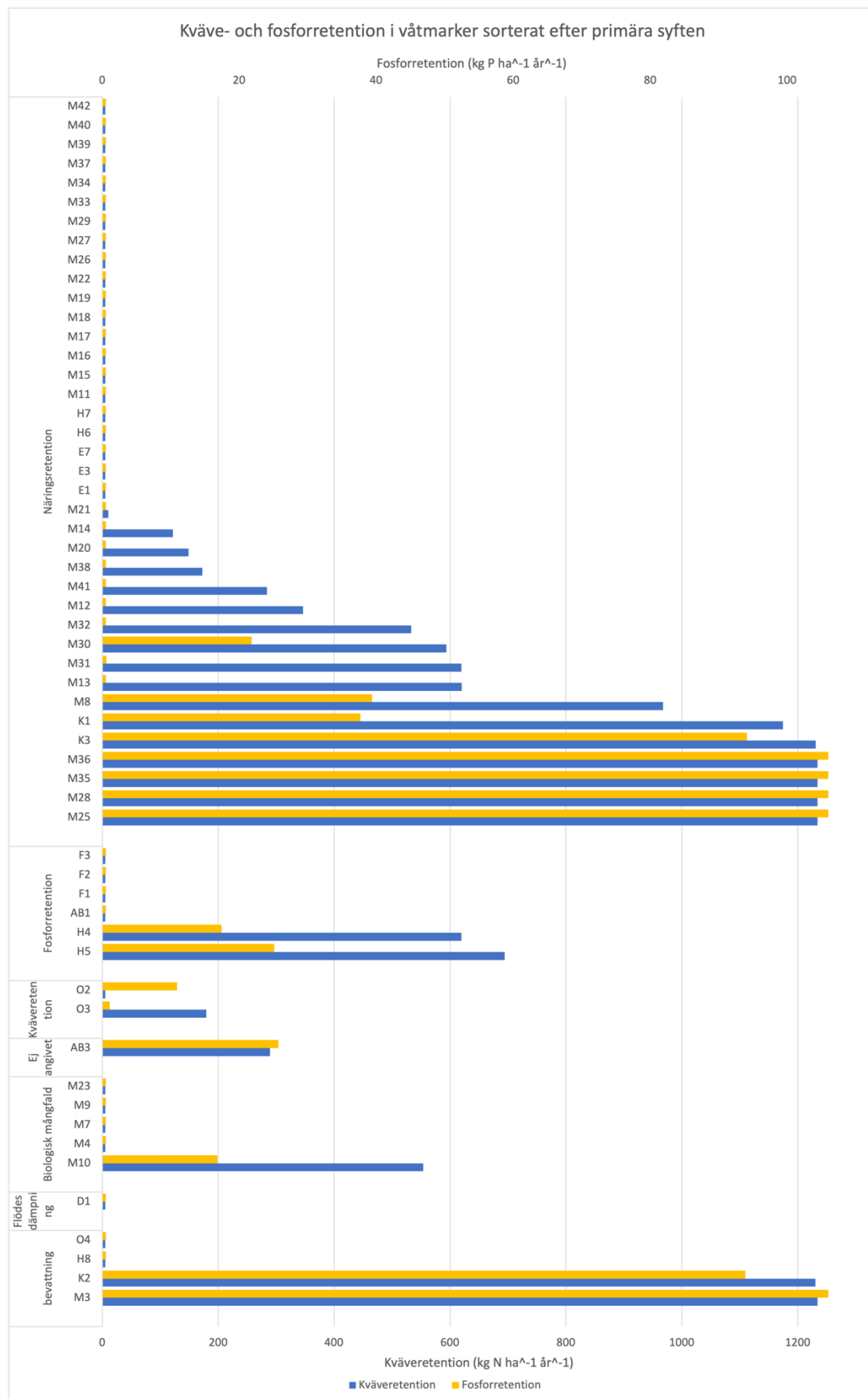
det lägsta gränsvärdet för fosfor och därmed en antagen fosforretention på 0,5 kg P ha⁻¹år⁻¹ (Tabell 3).

Av de 39 våtmarker som anlades med syftet näringsretention hade 22 stycken en kväveretention på endast 5 kg N ha⁻¹år⁻¹ och 30 våtmarker en fosforretention på 0,5 kg P ha⁻¹år⁻¹. Åtta våtmarker hade en mycket hög kväveretention, > 1000 kg N ha⁻¹år⁻¹ och fem våtmarker hade en mycket hög fosforretention, >100 kg P ha⁻¹år⁻¹. Endast fem av våtmarkerna hade både mycket hög kväve- och fosforretention. Av de 17 våtmarker som hade en kväveretention över minimumvärdet hade nio en fosforretention under minimumvärdet.

Sex våtmarker hade huvudsyfte fosforretention; fyra av dem hade en fosforbelastning under minimumgränsvärdet. De två våtmarkerna som hade näringsretentioner över minimumvärdena var H4 och H5. H4 hade en kväveretention på 620 kg N ha⁻¹år⁻¹ och en fosforretention på 17 kg ha⁻¹år⁻¹. H5 renade 694 kg N ha⁻¹år⁻¹ respektive 25 kg P ha⁻¹år⁻¹.

Det fanns enbart två våtmarker som anlagts med det primära syftet kväveretention där retentionen kunde beräknas. Båda våtmarkerna hade bland de lägre retentionsvärdena sett till alla undersökta våtmarker, men de låg över det lägsta gränsvärdet. O2 hade en fosforretention på 11 kg P ha⁻¹år⁻¹ och en kväveretention på 5 kg N ha⁻¹år⁻¹; och O3 en fosforretention på 1 kg P ha⁻¹år⁻¹ och en kväveretention på 179 kg N ha⁻¹år⁻¹.

Våtmarkerna K2 och M3 som anlades med syftena bevattning hade mycket höga retentionsvärden (1731 kg N ha⁻¹år⁻¹ och 94 kg P ha⁻¹år⁻¹ respektive 1234 kg N ha⁻¹år⁻¹ och 106 kg P ha⁻¹år⁻¹). Någon signifikant skillnad mellan syftesgrupperna kunde inte urskiljas.



Figur 2. Våtmarkernas näringsretention utifrån huvudsyftet. De blåa staplarna visar fosforretentionen i våtmarkerna och de gula visar kväveretentionen. Den övre x-axeln visar fosforretentionen och den nedre kväveretentionen. Våtmarkerna är sorterade efter syfte med stigande kväveretention.

Tabell 3. Våtmarkernas näringsbelastning, N_{bel} och P_{bel} , (kg ha⁻¹år⁻¹) och näringsretention, N_{ret} och P_{ret} , (kg ha⁻¹år⁻¹), anläggningskostnad, $A-K$, samt kostnadseffektivitet, KE , för respektive näringsämne (kr kg⁻¹). Tabellen är sorterad efter stigande kväveretentionsvärde. För de våtmarker där det inte finns en beräknad kostnadseffektivitet fanns ingen angiven anläggningskostnad. För de tomma cellerna saknades värden.

ID	N_{bel}	P_{bel}	N_{ret}	P_{ret}	A-K (kr)	KE (kr/kg N)	KE (kr/kg P)
AB1	38	5	5	0,5	369 095	9070	90 702
D1	2	0	5	0,5	1 256 920	9622	96 218
E1	113	22	5	0,5	440 000	24 458	244 581
E3	7	0	5	0,5	19 000	414	4143
E7	126	12	5	0,5	356 250	1102	11 021
F1	186	4	5	0,5	301 989	2124	21 245
F2	14	2	5	0,5	116 755	1870	18 701
F3	1	0	5	0,5	116 755	1276	12 757
H6	371	4	5	0,5	42 000	433	4333
H7	145	1	5	0,5	156 000	942	9417
H8	167	0	5	0,5	200 000	707	7074
M4	40	0	5	0,5			
M7	74	1	5	0,5	675 368	1554	15 541
M9	129	2	5	0,5			
M11	77	2	5	0,5			
M15	40	1	5	0,5	122 875	338	3376
M16	38	1	5	0,5	122 875	248	2485
M17	6	0	5	0,5	122 875	1204	12 036
M18	67	1	5	0,5	122 875	817	8175
M19	307	6	5	0,5	122 875	402	4020
M22	325	6	5	0,5	122 875	258	2579
M23	118	1	5	0,5	689 751	1903	19 025
M26	86	0	5	0,5	311 064	3525	35 253
M27	193	1	5	0,5	166 965	4606	46 063
M29	376	2	5	0,5	392 925	2458	24 580
M33	390	4	5	0,5	926 000	936	9364
M34	377	8	5	0,5	1 580 000	2775	27 749
M37	219	1	5	0,5	1 400 000	24 323	243 228
M39	298	3	5	0,5	273 780	1285	12 847
M40	356	3	5	0,5	500 344	1114	11 138

ID	N _{bel}	P _{bel}	N _{ret}	P _{ret}	A-K (kr)	KE (kr/kg N)	KE (kr/kg P)
M42	36	0	5	0,5	290 670	1956	19 561
O2	469	48	5	11	4 551 581	15 681	7171
O4	40	1	5	0,5	1 774 723	7566	75 663
M21	504	10	10	0,5	122 875	110	2278
M14	765	7	122	0,5	2 915 257	66	16 070
M20	847	16	149	0,5	122 875	11	3202
M38	927	11	173	0,5	476 841	80	27 476
O3	950	36	179	1			
M41	1410	13	284	0,5	452 857	58	33 193
AB3	1437	75	289	26	474 000	3	34
M12	1779	24	346	0,5			
M32	3586	29	533	0,5	1 560 000	24	25 860
M10	3882	58	554	17			
M30	4505	67	594	22	453 687	84	2295
M31	4968	36	620	1	845 030	33	32 603
H4	4973	59	620	17	40 000	4	149
M13	4977	17	620	0,5		1	1516
H5	6578	74	694	25	78 000	4	119
M8	18 363	113	968	39	901 231	5	122
K1	39 960	107	1175	38	6 303 151	16	486
K2	49 280	568	1231	94	5 586 150	96	1255
K3	49 388	571	1231	94			
M3	680 863	10 790	1234	106	700 000	5	61
M25	361 903	3507	1234	106	280 159	26	298
M28	361 429	3502	1234	106	67 213	20	232
M35	93 068	888	1234	106	1 000 000	15	173
M36	242 923	2720	1234	106	300 895	30	354

4.2 Utformning

4.2.1. Storlek

Våtmarkernas form (Appendix 1) och storlek varierade (Tabell 4). Fyra av de undersökta våtmarkerna var mycket stora och utgjorde mer än 10 % av avrinningsområdet (Tabell 4),

medan 24 av våtmarkerna utgjorde mindre än 1 % av avrinningsområdet. Medelvärde för våtmarkernas storlek i förhållande till avrinningsområdet var 3,4 % och medianen var 1,6 %.

Även den hydrauliska belastningen som våtmarkerna mottog hade en stor spridning mellan 0,3 och 109 385 m år⁻¹ (Tabell 4). Medianen för den hydrauliska belastningen var 14 m år⁻¹ och medelvärde var 3 500 m år⁻¹. Enbart 13 av våtmarkerna hade en hydraulisk belastning över 100 m år⁻¹.

Tabell 4. Visar våtmarkernas area (A_W), avrinningsområdenas area (A_C), våtmarkernas hydrauliska form (HS), hur stor area av avrinningsområdet våtmarken utgör ($A_W:A_C$), avståndet mellan våtmarkernas in- och utlopp (d), viktat medelvärde för hur långt vattnet transporteras i våtmarken (d_{viktat}), hur stor andel av inflödet som tar sig in via inloppet (Q_{in}) hur stort det ackumulerade inflödet är (Q_{acc}) samt våtmarkernas hydrauliska belastning (HL). Tabellen är sorterad efter stigande hydraulisk belastning. ¹Finns inget angivet inlopp angivet i projektbeskrivningen, vattnet tar sig in via ospecificerade inflöden. ²Två avstånd innebär två angivna anlopp i projektbeskrivningen.

ID	A_W (m ²)	A_C (ha)	HS	$A_W:A_C$ (%)	d (m)	d_{viktat} (m)	Q_{in} (%)	Q_{acc} (m ³ år ⁻¹)	HL (mår ⁻¹)
F3	2380	751	0,9	0,03	43	39	87	789	0,3
D1	3289	107		0,3	Saknar inlopp ¹	0		2270	0,7
M42	4027	24	2	1,7	128	98	44	3422	0,8
M39	20 612	13	1,6	15,6	224	118	2	29 246	1
M16	31 686	18	1,6	17,7	280	234	42	36 777	1,2
H05	3556	87	5,9	0,4	145	103	2	9792	1,3
E3	1371	1	2,4	22,9	88	85	29	1863	1,4
M33	29 495	36	2,4	8,1	411	331	74	40 064	1,4
M4	3455	6	4,2	5,8	244	66		5058	1,5
M14	50 076	129	2,2	3,9	490	0	19	79 426	1,6
M17	2920	4	1,3	7	70	64	58	5537	1,9
M23	9848	8	1,2	12,3	120	119	10	18 290	1,9
M7	12 038	28	2,8	4,3	302	195		28 264	2,3
M15	16 510	21	1,3	8	168	114	17	38 717	2,3
M40	13 000	14	1,5	9,2	174	147	45	34 307	2,6
M34	15 057	26	2,4	5,7	291	0	94	45 309	3
O4	5917	10		5,6	Saknar utlopp	0	75	30 739	5,2
M26	2305	13 493	5,7	0,002	275	131	2	12 600	5,5
F2	1603	1337	1,9	0,01	75, 72 ²	64	100	9758	6,1

ID	A _w (m ²)	A _c (ha)	HS	A _w :A _c (%)	d (m)	d _{viktat} (m)	Q _{in} (%)	Q _{acc} (m ³ år ⁻¹)	HL (mår ⁻¹)
M9	13 843	28	1,3	4,9	154	147	81	90 134	6,5
H8	7597	15	1,7	5,1	116	4	32	29 717	6,8
AB3	110 636	468	1,1	2,4	362, 331, 133	310	98	917 788	8,3
E7	8611	32	0,9	2,7	80	80	81	76 037	8,8
M29	4259	26	2,4	1,6	154 (yta 67)	113	85	44 469	10,4
M22	28 878	149	1,3	1,9	217	294	5	312 637	10,8
M21	40 294	85	2,4	4,7	485	418	92	486 601	12,1
M18	4613	31	1,8	1,5	125	122	76	64 441	14
M11	5251	26	1,6	2	117	117	96	73 623	14
M37	1448	10	1,1	1,4	40	50	2	20 432	14,1
M13	21 014	28	1,4	7,6	200	257	2	354 594	16,9
AB1	1025	1	2,7	7,2	85	84	100	17 424	17
M38	4592	36	2,1	1,3	140	135	95	89 317	19,5
M32	16 020	231	2,1	0,7	264	229	97	336 042	21
M19	12 264	148	1,7	0,8	189	185	83	282 713	23,1
F1	3638	44	2,3	0,8	140	110	1	110 639	30,4
M27	937	13 488	4,5	0,001	138	100	51	29 189	31,2
O2	7288	32	5,9	2,3	500	444	89	279 282	38,3
M41	3574	58	3,5	0,6	208	146	6	137 578	38,5
M20	18 211	136	1,1	1,3	147	126	32	783 506	43
K1	44 884	1097	4,1	0,4	870, 727	920	0,2	2 123 378	47,3
H7	4370	24	1,8	1,8	127	102	100	134 868	49,3
M12	20 169	115	0,5	1,8	72	67	78	372 980	81,5
M31	5406	339	3	0,2	217	177	97	491 402	90,9
K2	5961	16	3,2	3,6	238, 244	227	100	576 616	96,7
M8	27 891	1417	2	0,2	335	437	100	2 896 655	103,9
E1	451	31	1,4	0,1	30	45	100	58 793	130,4
O3	2974	170	4,3	0,2	235	197	93	991 827	333,5
M10	6326	2643	3,5	0,02	277	233		2 371 380	374,9

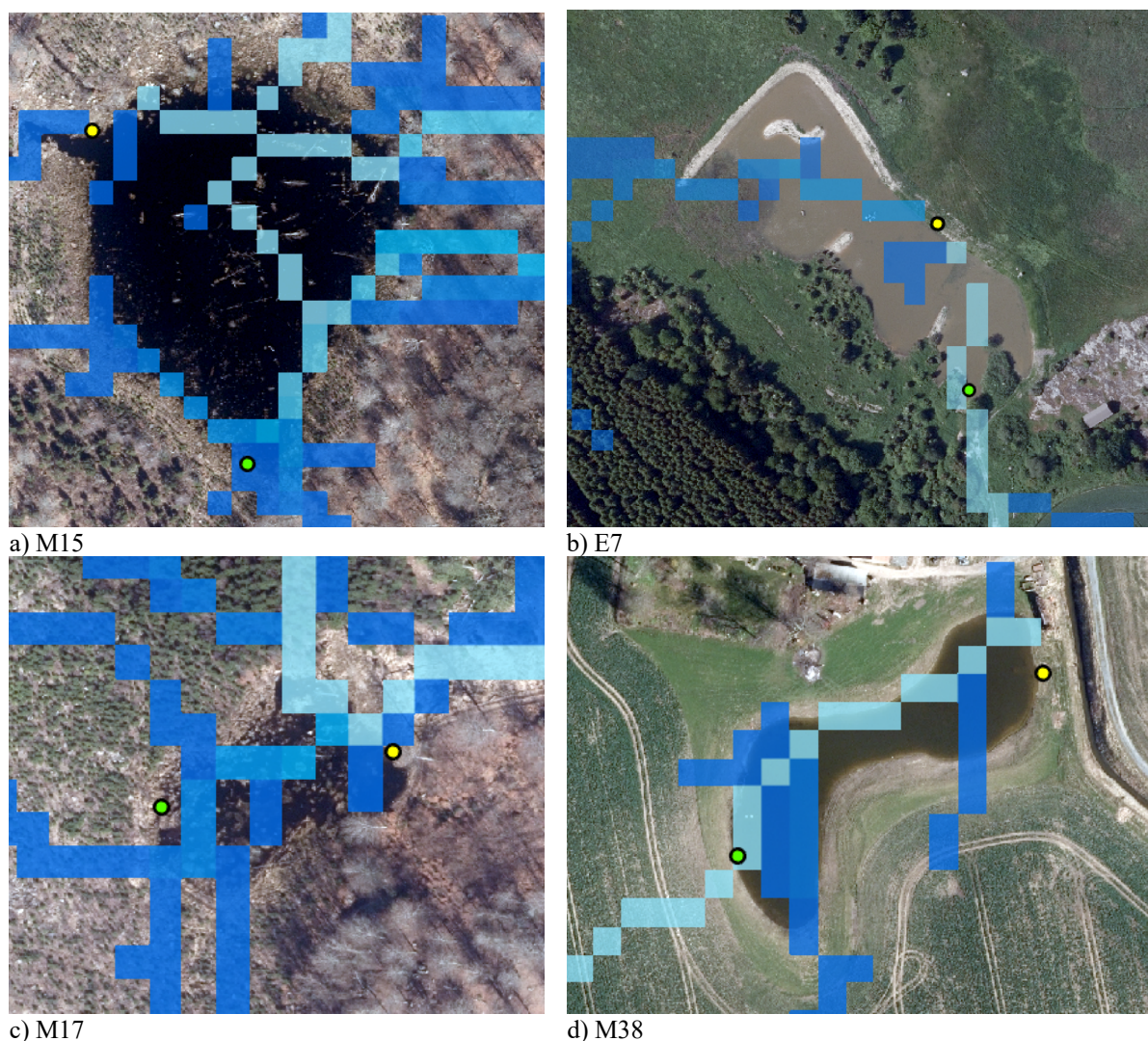
ID	A _w (m ²)	A _c (ha)	HS	A _w :A _c (%)	d (m)	d _{viktat} (m)	Q _{in} (%)	Q _{acc} (m ³ år ⁻¹)	HL (mår ⁻¹)
M30	1152	215	3,5	0,1	120	81	89	463 492	402,3
H6	2734	100	2,4	0,3	353	325	100	2 111 486	593,8
H4	2130	1093	4,2	0,02	196	187	97	1 429 738	671,2
K3	6095	19	3,1	3,3	242	225	0,01	5 787 596	949,6
M35	7109	3827	1,8	0,02	152	148	100	9 239 558	1299,7
M3	15 445	82 473	1,9	0,002	244	240	100	322 292 320	2 086 7,1
M36	1023	11 886	3,1	0,001	98	95	100	30 218 092	2 953 8,7
M25	1135	13 488	4,3	0,001	146	144	100	38 684 927	3 408 3,6
M28	353	13 485	3,8	0	72	68	100	38 612 765	109 385

4.2.2. Form

De studerade våtmarkerna var utformade med olika design (Appendix A). Den hydrauliska formen varierade mellan 0,5 och 5,9 (Tabell 4), där ett högre värde indikerar en bättre form. Medelvärdet för den hydrauliska formen var 2,5 och medianvärdet var 2,1.

Av de studerade våtmarkerna var det få där våtmarkernas area kunde utnyttjas optimalt (Appendix A). I flera av våtmarkerna (se våtmark M15 Figur 3a) fanns det flera större inflöden längs kanterna. I dessa våtmarker transporteras inte allt inkommande vatten hela avståndet mellan in- och utlopp, vilket indikeras med ett lägre viktat avstånd (d_{viktat} i Tabell 4). För endast tre våtmarker stämde det viktade avståndet med avståndet mellan in- och utlopp; E7, M11 och AB1. Ett annat scenario som var frekvent förekommande i de studerade våtmarkerna var att det största inflödet inte skedde via inloppet. Beroende på våtmarkens utformning kunde det innebära att en stor andel vatten transporterades en väldigt kort sträcka. Detta blev tydligt i våtmark M17 (Figur 3c), där det största inflödet inte skedde via inloppet utan väldigt nära utloppet. Av de totalt 57 våtmarkerna hade 40 stycken inlopp som tog emot mer än 50 % av det inkommande vattnet, 20 av dessa tog emot mer än 90 % av vattnet och av dessa tog sju emot 100 % av inflödet (Tabell 4). Medelvärdet respektive medianen för hur stor andel av den totala vattenvolymen som flödar in i våtmarken via inloppet var 63 respektive 81 %. Det fanns även våtmarker, till exempel E7 (Figur 3b), vars utlopp inte var placerat långt från inloppet. Våtmarker med bra utformning förekom också, exempelvis våtmark M38

(Figur 3d). En bra utformad våtmark kunde kännetecknas av en avlång form där en stor del av arean utnyttjades av det inkommande vattnet samt ett långt avstånd mellan in- och utlopp.



Figur 3. Illustration av våtmarkernas utformning som också visar var inflödena sker. De blåa pixlarna är belastningslinjer där de ljusare pixlarna indikerar en högre belastning, de gula punkterna är utlopp och de gröna är våtmarkens inlopp vilka baserades på våtmarkernas projektbeskrivningar.

4.3. Kostnadseffektivitet

Anläggningskostnaden varierade mellan de anlagda våtmarkerna (Tabell 3). Den lägsta anläggningskostnaden var 19 000 kr och den högsta var 6 303 151 kr. Eftersom kostnadseffektiviteten är kopplad till både våtmarkernas näringsretention och anläggningskostnad hamnade många våtmarker i den högsta kostnadsklassen och var därför väldigt ineffektiva. I den här studien låg 49 % av våtmarkerna i den högsta kostnadsklassen

för kväve (>500 kr kg^{-1} N) och hela 59 % i den högsta kostnadsklassen för fosfor (>5000 kr kg^{-1} P) (Tabell 4). Endast 27 % respektive 20 % låg i de mest kostnadseffektiva klasserna (<50 kr kg^{-1} N och <500 kr kg^{-1} P).

Tabell 5. Antal våtmarker i varje kostnadsklass. Kostnadsklasser från Djodjic et al. (2022). Beräkningar var möjliga för 49 av våtmarkerna.

Kostnadsklass kr kg^{-1} N	Antal våtmarker	Kostnadsklass kr kg^{-1} P	Antal våtmarker
<50	13	<500	10
50–100	5	500–1000	0
100–200	1	1000–2000	1
200–300	2	2000–3000	4
300–400	1	3000–4000	2
400–500	3	4000–5000	3
>500	24	>5000	29

5. Diskussion

5.1. Placering

En våtmarks utformning och placering i landskapet är avgörande för dess näringsretention då det påverkar hur stor näringsbelastning våtmarken tar emot och huruvida våtmarken kan rena den belastning som tas emot (Land et al. 2016). De flesta LOVA-våtmarkerna i denna studie hade en placering som innebar låg näringsbelastning, vilket resulterade i en låg näringsretention och låg kostnadseffektivitet. Detta trots att syftet med LOVA-bidraget är att främja åtgärder som bidrar till en förbättrad vattenkvalitet. I Sverige bör bra placerade våtmarker kunna uppnå en retention på minst 500 kg N och 50 kg P per hektar och år (Weisner et al. 2015). Av våtmarkerna i den här studien var det endast 28 % respektive 12 % som överskred dessa gränser för hög kväve- och fosforretention. Detta kan jämföras med de 47 fosfordammar som anlagts med LOVA-bidrag under samma period, där 62 % hade en hög kväveretention och 55 % en hög fosforretention (Fredricsson 2024). LOVA-fosfordammar tar alltså emot en högre näringsbelastning och har därmed en bättre placering än LOVA-våtmarkerna. Förutom bra placering, är det viktigt att näringsrik matjord tas bort vid anläggning för att inte medföra en risk för fosforläckage från våtmarken. Våtmarker kan

annars bli en fosforkälla i många år efter anläggningen (Audet et al. 2020). Det var dock fyra av de åtta våtmarkerna med bra placering för fosforretention där matjorden inte tagits bort.

Våtmarker anläggs i olika syften, såsom näringsretention eller biologisk mångfald, och bör placeras där de bäst kan uppfylla sitt syfte (Hambäck et al. 2023). I en studie av Halländska våtmarker hade de anlagda våtmarkerna med syftet biologisk mångfald betydligt lägre näringsrening än de våtmarker som anlades med syftet näringsretention (Weisner et al. 2015). I den här studien var näringsretentionen i våtmarker anlagda för biodiversitet lägre än i våtmarker anlagda för näringsretention, men förvånansvärt många av de som anlagts med syftet näringsretention (84 %) hade låg näringsrening för både kväve och fosfor. Dessutom hade båda våtmarkerna anlagda med syftet kväveretention låg reningspotential (för både kväve och fosfor), vilket indikerar att dessa våtmarker inte placerats optimalt för att uppfylla sitt syfte. Det samma gäller de sex våtmarker som anlades för fosforretention som även de hade låg reningspotential för fosfor. Å andra sidan fanns det bevattningsdammar med mycket hög reningspotential för både kväve och fosfor.

5.2. Utformning

Även om den inkommande näringsbelastningen är den faktor som har störst påverkan på näringsretentionen (Braskerud 2002), har våtmarkens utformning också en påverkan på dess näringsretention.

5.2.1. Storlek

En våtmarksarea som utgör mindre än 1 % är mindre effektiv än en våtmarksarea som utgör mer än 1 % av avrinningsområdet då det gäller hög relativ kväveretention (Mendes 2021). I den här studien hade 33 av 57 våtmarker en våtmarksarea som utgjorde mer än 1 % av avrinningsområdet. Det är viktigt att ha i åtanke att en våtmark som är väldigt stor i förhållande till sitt avrinningsområde må vara effektiv i att rena den näringsbelastning som mottas, men det finns också en risk att en sådan våtmark inte tar emot lika hög näringsbelastning då avrinningsområdet är mindre (Mendes 2021). Våtmarken uppnår då en hög procentuell rening av inkommande näringsämnen medan den totala retentionen kan bli låg om den inkommande belastningen är låg. Av de åtta våtmarker som hade en bra placering för hög kväveretention var det endast tre vars area utgjorde mer än 1 % av avrinningsområdet.

I en studie av danska restaurerade våtmarker framgick det att en våtmarks relativa fosforretention inte påverkas av våtmarkens storlek i förhållande till avrinningsområdet (Audet et al. 2020). Även ett mindre avrinningsområde kan ge upphov till höga fosfor och kvävehalter men är beroende av ett tillräckligt högt vattenflöde för att våtmarkerna ska ta emot en hög belastning.

Den hydrauliska belastningen påverkar alltså både våtmarkernas kväve- och fosforretention (Persson & Wittgren 2003; Kynkäänniemi 2014; Djodjic et al. 2020; Mendes 2021; Nilsson et al. 2023). Den ytspecifika kväveretentionen (antal kilogram renat kväve per areaenhet och tid) i en våtmark ökar med en ökad hydraulisk belastning (Mendes 2021). Även fosforretentionen ökar med ökad hydraulisk belastning (Kynkäänniemi 2014) och en optimal hydraulisk belastning kan antas vara $HL = 100 \text{ m år}^{-1} \pm 10 \%$. Av de undersökta våtmarkerna var det endast tre; M31, M8 och K2, som hade den antagna optimala hydrauliska belastningen för en hög fosforretention. Av dessa tre var det bara K2 som hade en hög fosforretention. Alltså endast en våtmark med både en bra placering (fosforretention över $50 \text{ kg P ha}^{-1}\text{år}^{-1}$) och en bra hydraulisk belastning för en hög fosforretention. Majoriteten av våtmarkerna (74 %) hade en hydraulisk belastning under det optimala intervallet och var därmed relativt stora som nämnts ovan. Dessa våtmarker kan däremot ha varit bra för biologisk mångfald, då de flesta arter gynnas av större habitat (Hambäck et al. 2023). Ingen av de våtmarker som anlagts i syftet att gynna den biologiska mångfalden var avvikande små. Detta bör indikera att de är lämpligt utformade för att gynna en biologisk mångfald.

5.2.2. Form

Reningen påverkas även av hur vattnet sprider sig i våtmarken. En hög hydraulisk effektivitet ökar våtmarkens potential till hög kvävetretention, vilket stöds av en bra hydraulisk form (Nilsson et al. 2023). Våtmarkerna som undersökts i denna studie har haft relativt låg hydraulisk form, vilket tyder på att arean inte kunnat utnyttjas effektivt av det genomströmmande vattnet. Jämfört med de fosfordammar som också anlagts med hjälp av LOVA-bidrag under samma period, hade våtmarkerna en lägre hydraulisk form (Fredricsson 2024). Både medel- och medianvärde på 3 var signifikant högre för fosfordammarna jämfört med våtmarkerna, som i den här studien var 2,5 respektive 2,1 ($p=0,04$). Det fanns en signifikant skillnad både i våtmarksarea och i avstånd från in- till utlopp mellan våtmarkerna och fosfordammarna. Våtmarkerna hade en betydligt större area än fosfordammarna, med ett medelvärde på $12\,259 \text{ m}^2$ respektive 990 m^2 . Våtmarkernas avstånd mellan in- och utlopp var

i medel 208 m och i fosfordammarna 61 m. Vattnet hade alltså en längre transportsträcka i våtmarkerna än i fosfordammarna. Det längre avståndet mellan våtmarkernas in- och utlopp borde resultera i en bättre form. Fosfordammar utformas ofta genom att bredda redan existerande diken och på så vis får fosfordammarna en långsmal form där det genomströmmande vattnet kan utnyttja hela arean. Att våtmarkerna hade en större area men en lägre hydraulisk form innebar att det genomströmmande vattnet inte kunde utnyttja hela våtmarkens area effektivt. Det här visar att utformningen av våtmarker kan bli bättre. Att optimera den hydrauliska formen är ett bra verktyg vid planeringen av en våtmarks utformning (Nilsson et al. 2023). På så sätt kan våtmarkerna designas för en högre näringsretention. Dock är den inkommande näringsbelastningen, och därmed placeringen, viktigare än formen när det kommer till våtmarkernas möjlighet hög näringsretention.

Det viktade medelvärde för vattnets transportsträcka i våtmarkerna stämde sällan med avståndet mellan in- och utlopp. Detta innebär att avståndet mellan in- och utlopp inte alltid är en bra indikation på hur långt vattnet transporteras i våtmarken. En stor andel av våtmarkerna hade en hög procentandel inkommande vatten som transporteras in i våtmarken via inloppet, vilket tyder på väl placerade inlopp.

5.3. Kostnadseffektivitet

I en liknande studie av våtmarker i några skånska och sörmländska avrinningsområden (Djordjic et al. 2022) användes också belastningskartor och där konstaterades att de våtmarker med högst näringsretention också var dem vars kostnad per renat kg näringsämne var lägst (Djordjic et al. 2022). Den studien hade dock antagit en anläggningskostnad på 350 000 kr ha⁻¹ i brist på specifika anläggningskostnader för enskilda våtmarker. I denna studie användes däremot specifika kostnader för anläggning och medelvärden för uppskattade arrendekostnader. Medelvärdena för arrendekostnaderna var baserade på vad som var i landet våtmarkerna var placerade. Att använda ett medelvärde för arrendepriiser var ett bra mått på markanvändningskostnad då anläggningen av en våtmark konkurrerar med att använda marken som produktiv jordbruksmark (Mårtensson et al. 2020). Detta betyder alltså att det inte innebär en större ekonomisk förlust för markägaren att anlägga en våtmark. Resultaten i de båda studierna stämde ändå väl överens, vilket är rimligt med tanke på att konstruktionskostnader och markanvändningskostnader inte påverkas av hur mycket kväve

och fosfor våtmarken tar emot. Djodjic et al. (2022) kunde dock påvisa en skillnad mellan regionerna, där fler våtmarker hade bättre placering med högre andel jordbruksmark i västra Skåne jämfört med i Södermanland. I den studien låg endast 7 % respektive 8 % av de sörmländska våtmarkerna i den mest kostnadseffektiva klassen för kväve respektive fosfor ($<50 \text{ kr kg}^{-1} \text{ N}$ och $<500 \text{ kr kg}^{-1} \text{ P}$), medan 88 % respektive 44 % av våtmarkerna låg i de minst effektiva kostnadsklasserna ($>500 \text{ kr kg}^{-1} \text{ N}$ och $>5000 \text{ kr kg}^{-1} \text{ P}$). Av de skånska våtmarkerna var däremot 38 % och 25 % mycket kostnadseffektiva och 35 % och 42 % var inte alls kostnadseffektiva för kväve respektive fosfor. I den här studien var det färre (27 % respektive 20 %) som var väldigt kostnadseffektiva och en större andel våtmarker i den minst effektiva kostnadsklassen; 49 % för kväve och 59 % för fosfor. Det är höga procentandelar av de anlagda våtmarkerna som undersökts i framför allt den här studien, men även i studien av Djodjic et al. (2022), som inte är kostnadseffektiva. Resultaten från den här studien var mer lika resultaten för de sörmländska våtmarkerna i studien av Djodjic et al. (2022) trots att de flesta våtmarkerna i den här studien var anlagda i Skåne.

För att förbättra våtmarkernas kostnadseffektivitet är placeringen avgörande. Från den här studien framgick att mängden näring som våtmarkerna tog emot samt våtmarkernas anläggningskostnader var mest avgörande för våtmarkernas kostnadseffektivitet (Tabell 3). Alltså var placeringen mer avgörande än våtmarkernas utformning. För att öka våtmarkers kostnadseffektivitet gäller det därför att anlägga våtmarker där näringsbelastningen är hög och med storlek som kan motta vattenvolym och utformning där hela arean kan utnyttjas effektivt.

5.4. Felkällor och begränsningar

Vid visuell undersökning hade få av våtmarkerna den föredragna utdragna formen. Dock behöver våtmarkerna vara breda för att inte vattenhastigheten ska vara för hög. Vattnet måste ha en tillräckligt lång uppehållstid för att näringen ska hinna tas upp av våtmarken. Det var svårt att göra en bedömning om huruvida våtmarkerna har en bra hydraulisk form då det inte fanns några tillgängliga riktvärden.

Några av våtmarkerna som uppskattades ha hög näringsretention angavs av projektägarna endast ta emot ett delflöde. Detta gör att det finns en osäkerhet i hur mycket av näringen som faktiskt leds in och renas i våtmarken. Det här är speciellt aktuellt i de våtmarker som både

har en avvikande hög flödes- och näringsbelastning. Det är då möjligt att den näringsbelastning som tog sig in i våtmarken inte var högre än övre gränsvärdet.

En osäkerhet i den här studien är att det för flera av våtmarkerna saknas olika data och vissa våtmarker behövde därför uteslutas från olika delar av studien. Exempelvis saknade vissa våtmarker belastningsfiler och vissa våtmarker saknade totala anläggningskostnader och konstruktionskostnader. För de våtmarker där den totala anläggningskostnaden saknades användes en konstruktionskostnad (om tillgänglig). Det här påverkar säkerheten i den beräknade kostnadseffektiviteten eftersom det utöver konstruktionskostnaden kan tillkomma ytterligare kostnader. I den här studien har de faktiska kostnaderna för markanvändningen för just de här våtmarkerna inte använts, utan i stället ett uppskattat värde. Om de verkliga kostnaderna hade kunnat användas hade kostnadseffektiviteten varit ännu mer exakt.

Vid jämförelse av storleken på de beräknade avrinningsområdena med den storlek på avrinningsområdet som angavs av projektägare i projektbeskrivningar fanns det i några fall skillnader. Att det fanns en skillnad mellan beräknade och angivna avrinningsområdena är en möjlig felkälla vid beräkning av våtmarkernas närings- och hydrauliska belastning. Det hade även gynnat den här studien med en större urvalsgrupp, för att kunna dra slutsatser kring huruvida våtmarkerna anlades på ett sätt som lät dem uppfylla sina huvudsyften.

Den beräkningsmetod som använts för att beräkna våtmarkernas näringsretentioner utgår från våtmarkernas inkommande näringsbelastning. Näringsbelastningen anges per hektar och på så vis tar ekvationen hänsyn till våtmarkernas area. Dock tar ekvationen inte hänsyn till våtmarkernas form eller sträckan mellan in- och utlopp, vilket gör det svårt att avgöra hur våtmarkernas utformning direkt påverkar retentionen. Därför är det svårt att säga hur mycket utformningen av de studerade våtmarkerna har påverkat deras näringsretention.

En annan begränsning i studien är att våtmarkers näringsretention inte enbart påverkas av våtmarkens egna egenskaper, utan även av eventuell förekomst av andra våtmarker i avrinningsområdet (Hambäck et al. 2023). Några våtmarker i studien var placerade i samma avrinningsområden och huruvida detta har påverkat våtmarkernas näringsretention har dock inte undersökts.

6. Slutsats

1. Majoriteten av våtmarkerna som anlades mellan 2017 och 2022 med hjälp av LOVA-bidrag har inte en bra placering för en hög näringsretention, hälften hade den lägsta möjliga kväve- och fosforretentionen. Endast ett fåtal våtmarker har placerats där de tar emot en hög näringsbelastning. Våtmarkernas placering är den beslutande faktorn i våtmarkernas näringsretention.
2. Våtmarkernas hydrauliska form indikerar att våtmarkerna inte är optimalt utformade för en hög hydraulisk effektivitet. Många av våtmarkerna var relativt stora, 58 % av våtmarkernas area utgjorde mer än 1 % av avrinningsområdets area och har alltså en bra förutsättning för hög relativ kväveretention. Däremot var det få, endast tre våtmarker med en hydraulisk belastning inom intervallet för en hög ytspecifik fosforretention $HL = 100 \text{ m} \pm 10 \%$. De flesta, 72 % hade en hydraulisk belastning under det optimala intervallet och 21 % över.
3. I 49 % av våtmarkerna kostar det mer än 500 kr att rena 1 kg kväve och i 59 % av våtmarkerna kostar det mer än 5000 kr att rena ett kg fosfor. Det innebär att en majoritet av våtmarkerna inte har en hög kostnadseffektivitet.

7. Referenser

- ArcGIS Online (u.å.). *Shapefiles*. Esri. <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/reference/shapefiles.htm> [2024-03-14]
- Arneborg, L. & Gustafsson, B. (2020a). Framtidens Östersjön - påverkan av övergödning och klimatförändringar. *Östersjöcentrum*, 2/2020
- Arneborg, L. & Gustafsson, B. (2020b). Övergödningen av Östersjön - en bakgrundsrapport. *Östersjöcentrum*, 2/2020
- Audet, J., Zak, D., Bidstrup, J. & Hoffmann, C.C. (2020). Nitrogen and phosphorus retention in Danish restored wetlands. *Ambio*, 49 (1), 324–336. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01181-2>
- Braskerud, B. (2002). Factors affecting phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. *Ecological Engineering*, 19, 41–61. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857402000149> [2024-04-17]
- Djodjic, F., Geranmayeh, P., Collentine, D., Markensten, H. & Futter, M. (2022). Cost effectiveness of nutrient retention in constructed wetlands at a landscape level. *Journal of Environmental Management*, 324 (116325). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116325>
- Djodjic, F., Geranmayeh, P. & Markensten, H. (2020). Optimizing placement of constructed wetlands at landscape scale in order to reduce phosphorus losses. *Ambio*, 49, 1797–1807. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01349-1>
- Enhäll, J. (2011). Arrendepriiser på jordbruksmark 2010. *Statistiska meddelanden*, JO 39 (SM 1101)
- Fredricsson, E. (2024). *Utvärdering av fosfordammars utformning och placering, anlagda med LOVA bidrag*. (Masteruppsats). Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Geranmayeh, P., Markensten, H. & Djodjic, F. (Under föredelse). Rådgivningsverktyg våtmarker - Optimerad placering och storlek för fosforretention. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vatten och miljö*.
- Gyllström, M., Larsson, M., Mentzer, J., Petersson, J.F., Cramér, M., Boholm, P. & Witter, E. (2019). Åtgärder mot övergödning för att nå god ekologiskt status - underlag till vattenmyndigheternas åtgärdsprogram. *Länsstyrelsen Västmanland*, 2016:19
- Hambäck, P.A., Dawson, L., Geranmayeh, P., Jarsjö, J., Kačergytė, I., Peacock, M., Collentine, D., Destouni, G., Futter, M., Hugelius, G., Hedman, S., Jonsson, S., Klatt,

- B.K., Lindström, A., Nilsson, J.E., Pärt, T., Schneider, L.D., Strand, J.A., Urrutia-Cordero, P., Åhlén, D., Åhlén, I. & Blicharska, M. (2023). Tradeoffs and synergies in wetland multifunctionality: A scaling issue. *Science of the Total Environment*, 862 (160746). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160746>
- Havs och Vattenmyndigheten (2023). *LOVA*. <https://www.havochvatten.se/bidrag-utlysningar-och-anslag/lova.html> [2023-09-10]
- Havs och vattenmyndigheten (u.å.). *Fakta om badvatten*. <https://www.havochvatten.se/badplatser-och-badvatten/fakta-om-badvatten.html> [2023-11-15]
- Havs och vattenmyndigheten & Länsstyrelserna (2018). Vägledning om statligt stöd till lokala vattenvårdsprojekt Enligt förordning (2009:381). *Havs och vattenmyndigheten*, Johannesson, K.M., Kynkäänniemi, P., Ulén, B., Weisner, S.E.B. & Tonderski, K.S. (2015). Phosphorus and particle retention in constructed wetlands - A catchment comparison. *Ecological Engineering*, 80, 20–31. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.08.014>
- Johansson, E. (2022). Ingen övergödning Fördjupad utvärdering av miljö kvalitetsmålen 2023. *Havs och vattenmyndigheten*, 2022:16. www.havochvatten.se
- Jönsson, E. (2020). Algbloomingen i Östersjön startar allt tidigare. *Sveriges Television*. <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/smaland/allt-tidigare-algblooming-1> [2023-11-14]
- Kyllmar, K., Fölster, J., Aronsson, H., Berglund, K., Djodjic, F., Etana, A., Geranmayeh, P. & Wesström, I. (2020). Åtgärder i jordbruket mot övergödning - förslag till system för uppföljning av effekt. *Ekohydrologi*, 167. <https://pub.epsilon.slu.se>
- Kynkäänniemi, P. (2014). *Small wetlands designed for phosphorus retention in Swedish agricultural areas: efficiency variations during the first years after construction*. (Avhandling 2014:70). Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för mark och miljö.
- Lagerkvist, N. (2004). Kvalitetskriterier för våtmarker i odlingslandskapet – kriterier för rening av växtnäring med beaktande av biologisk mångfald och kulturmiljö. *Jordbruksverket*, 2004:2
- Land, M., Granéli, W., Grimvall, A., Hoffmann, C.C., Mitsch, W.J., Tonderski, K.S. & Verhoeven, J.T.A. (2016). How effective are created or restored freshwater wetlands for nitrogen and phosphorus removal? A systematic review. *Environmental Evidence*, 5:9. <https://doi.org/10.1186/s13750-016-0060-0>
- Länsstyrelsen Västra Götaland (u.å.). *Lokala vattenvårdsprojekt (LOVA)*. <https://www.lansstyrelsen.se/vastra-gotaland/miljo-och-vatten/atgarder-och->

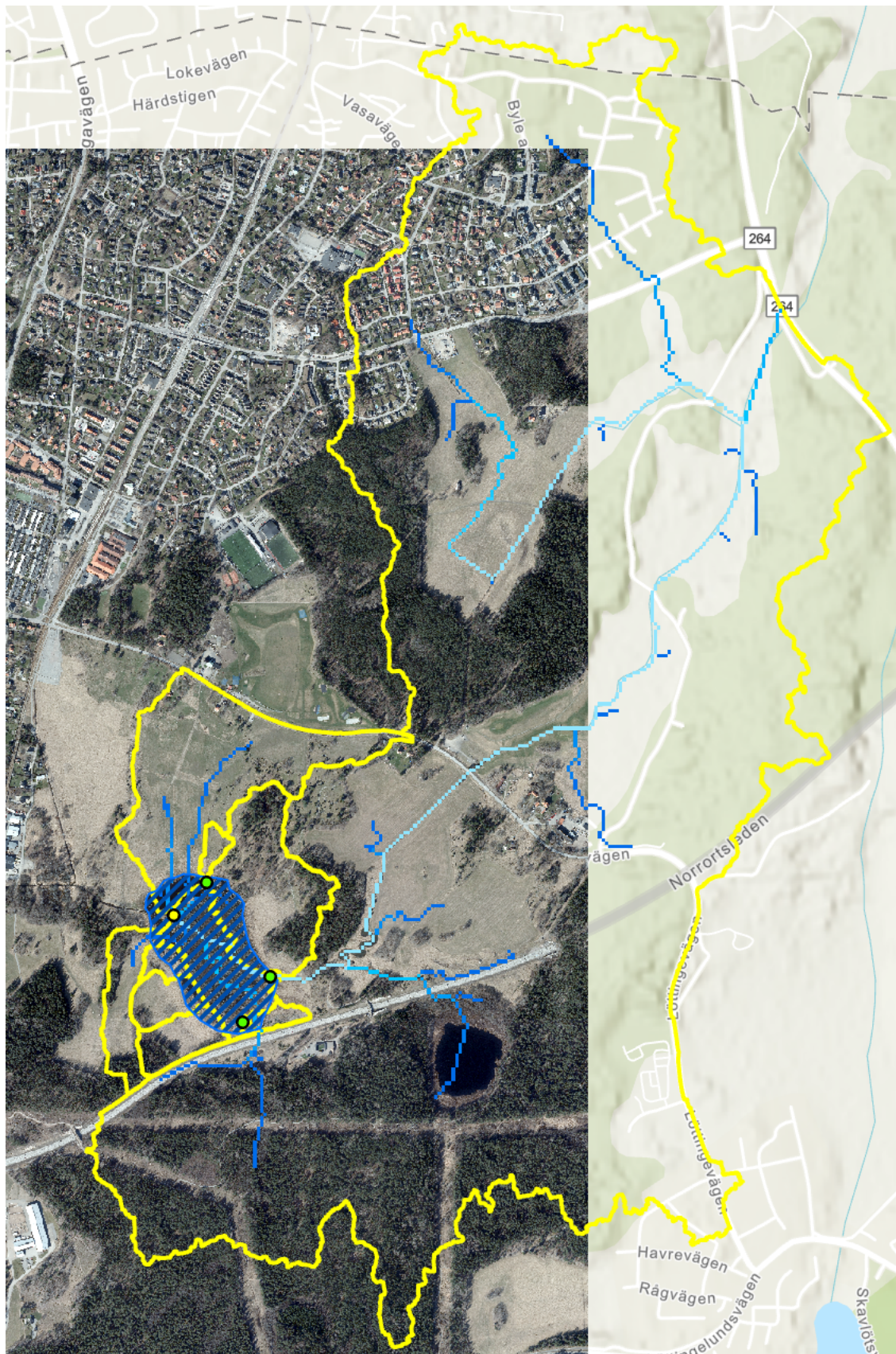
verksamheter-i-vatten/stod-for-atgarder-i-vatten/lokala-vattenvardsprojekt-lova.html
[2023-09-10]

- Mendes, L.R.D. (2021). Nitrogen removal from agricultural subsurface drainage by surface-flow wetlands: Variability. *Processes*, 9 (156), 1–35. <https://doi.org/10.3390/pr9010156>
- Mårtensson, K., Kyllmar, K., Persson, K. & Djodjic, F. (2020). Åtgärdsscenarier för minskat näringsläckage från åkermark Beräkningar för ett urval av delavinningsområden inom LEVA-områden. *Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö, Ekohydrologi* 169
- Nilsson, J.E., Weisner, S.E.B. & Liess, A. (2023). Wetland nitrogen removal from agricultural runoff in a changing climate. *Science of the Total Environment*, 892 (164336). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164336>
- Persson, J. & Wittgren, H.B. (2003). How hydrological and hydraulic conditions affect performance of ponds. *Ecological Engineering*, 21 (4–5), 259–269. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2003.12.004>
- Riksantikvarieämbetet (1996). Odlingslandskapet - en lång markanvändnings historia.
- Wahlström, A., Abenius, J., Lagerkvist, N., Wallander, J., Möller, L., Hamilton, C., Eriksson, C., Ederlöf, E. & Öberg, A. (2007). Myllrande våtmarker. *Naturvårdsverket*, 5771
- Walve, J. & Rolff, C. (u.å.). *Näringsämnet kväve. Havet*. <https://www.havet.nu/kvave> [2024-03-07]
- Weisner, S., Johanssensson, K. & Tonderski, K. (2015). Näringsavskiljning i anlagda våtmarker i jordbruket. *Jordbruksverket*, 2015:7

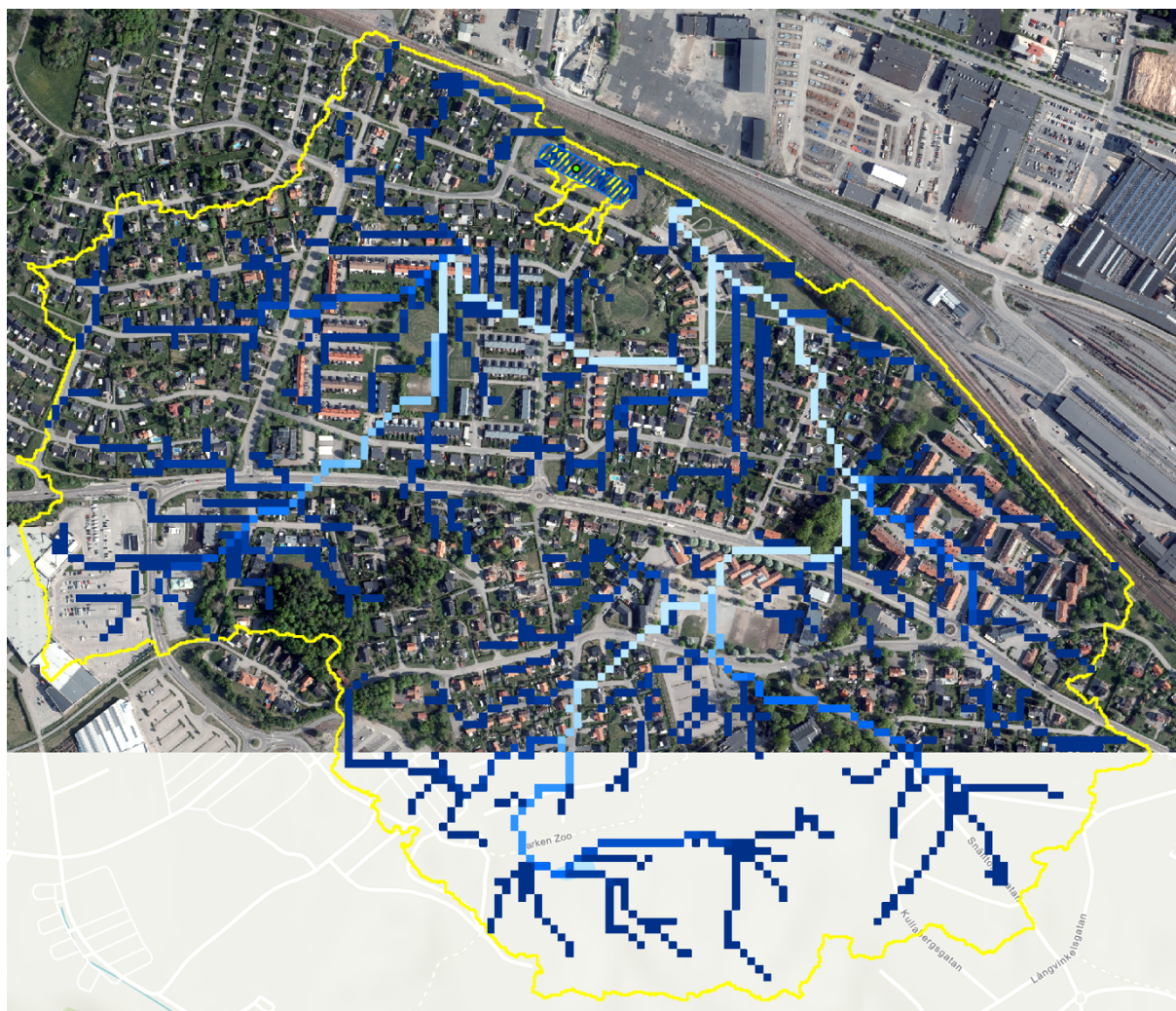
Appendix A. Kartor över våtmarker



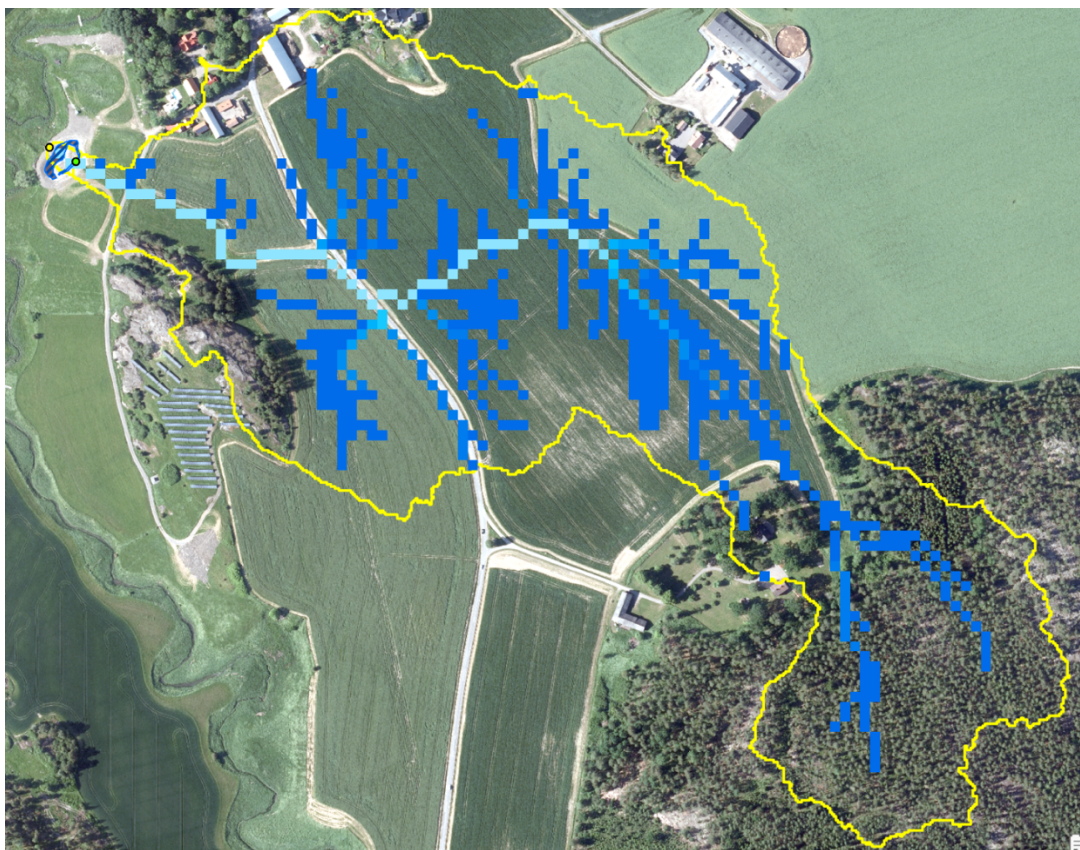
Figur A1. Karta över våtmark AB1. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



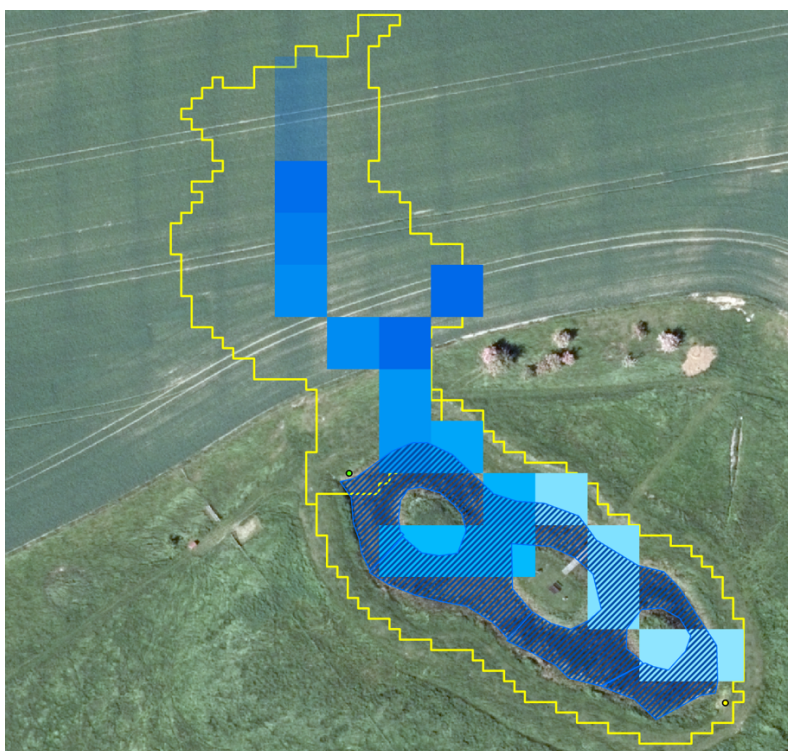
Figur A2. Karta över våtmark AB3. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



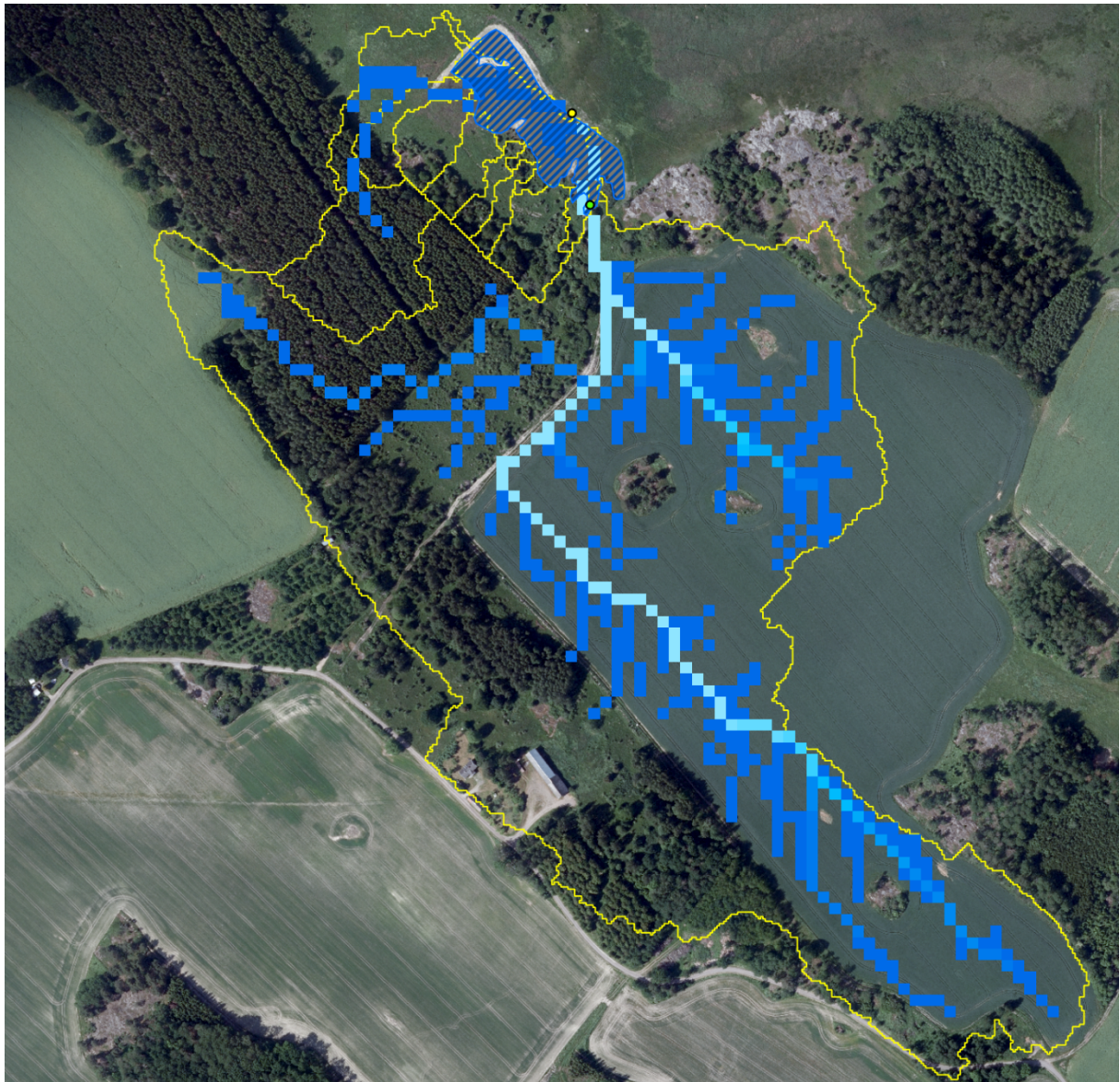
Figur A3. Karta över våtmark D1. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



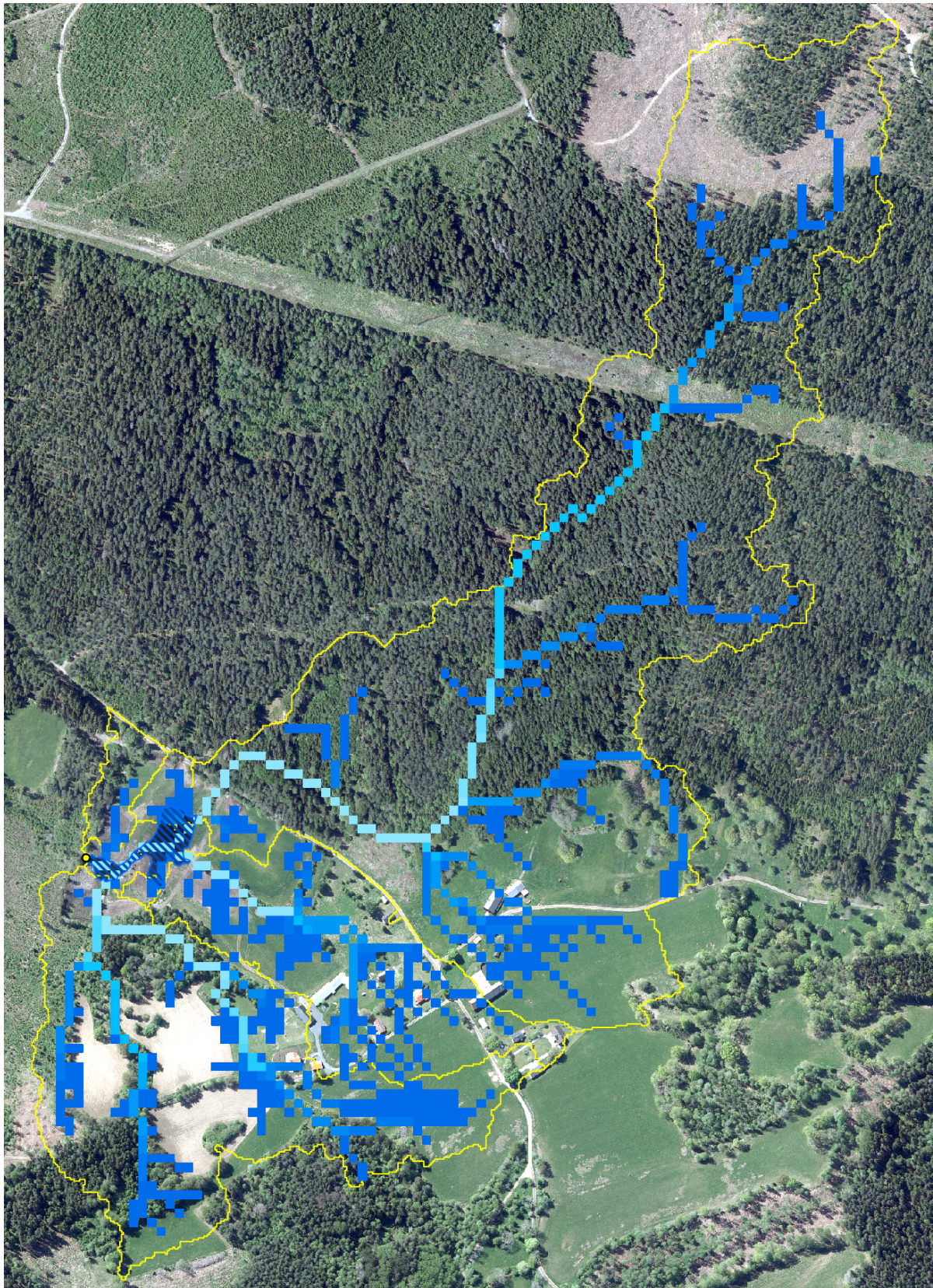
Figur A4. Karta över våtmark E1. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A5. Karta över våtmark E3. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



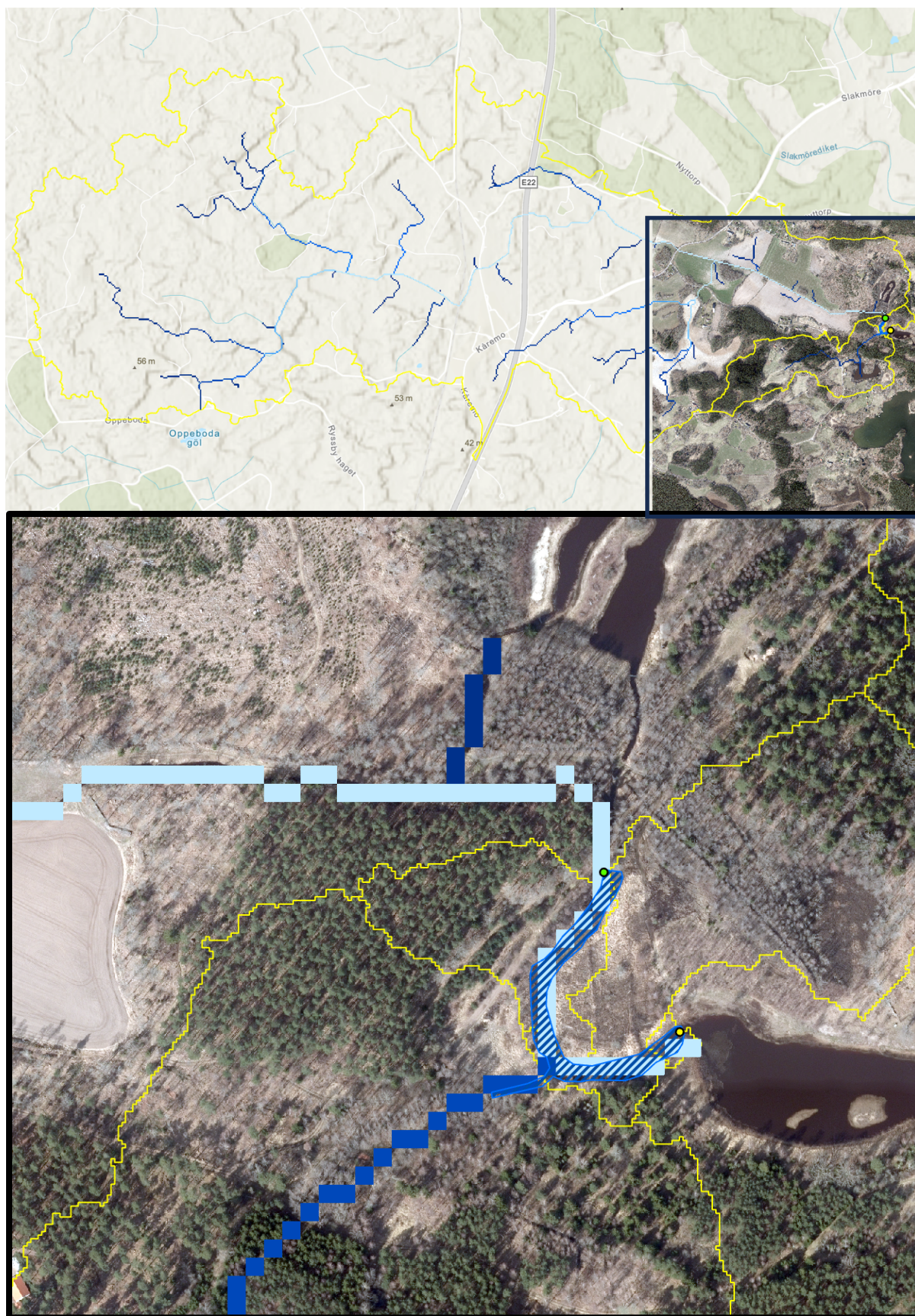
Figur A6. Karta över våtmark E7. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A7. Karta över våtmark F1. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A8. Karta över våtmark F2 och F3. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A9. Karta över våtmark H4. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



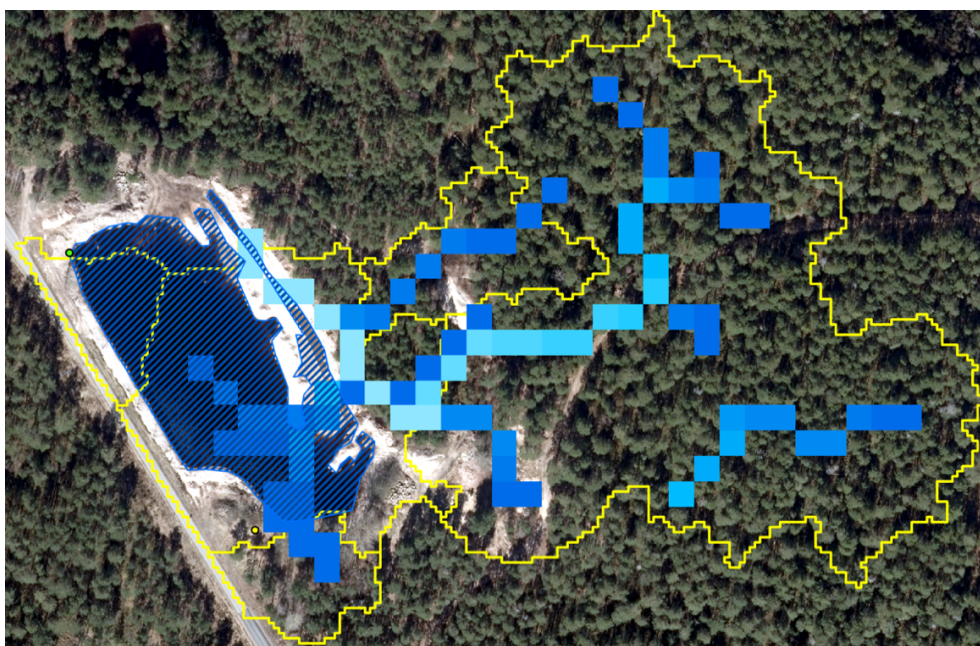
Figur A10. Karta över våtmark H5. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



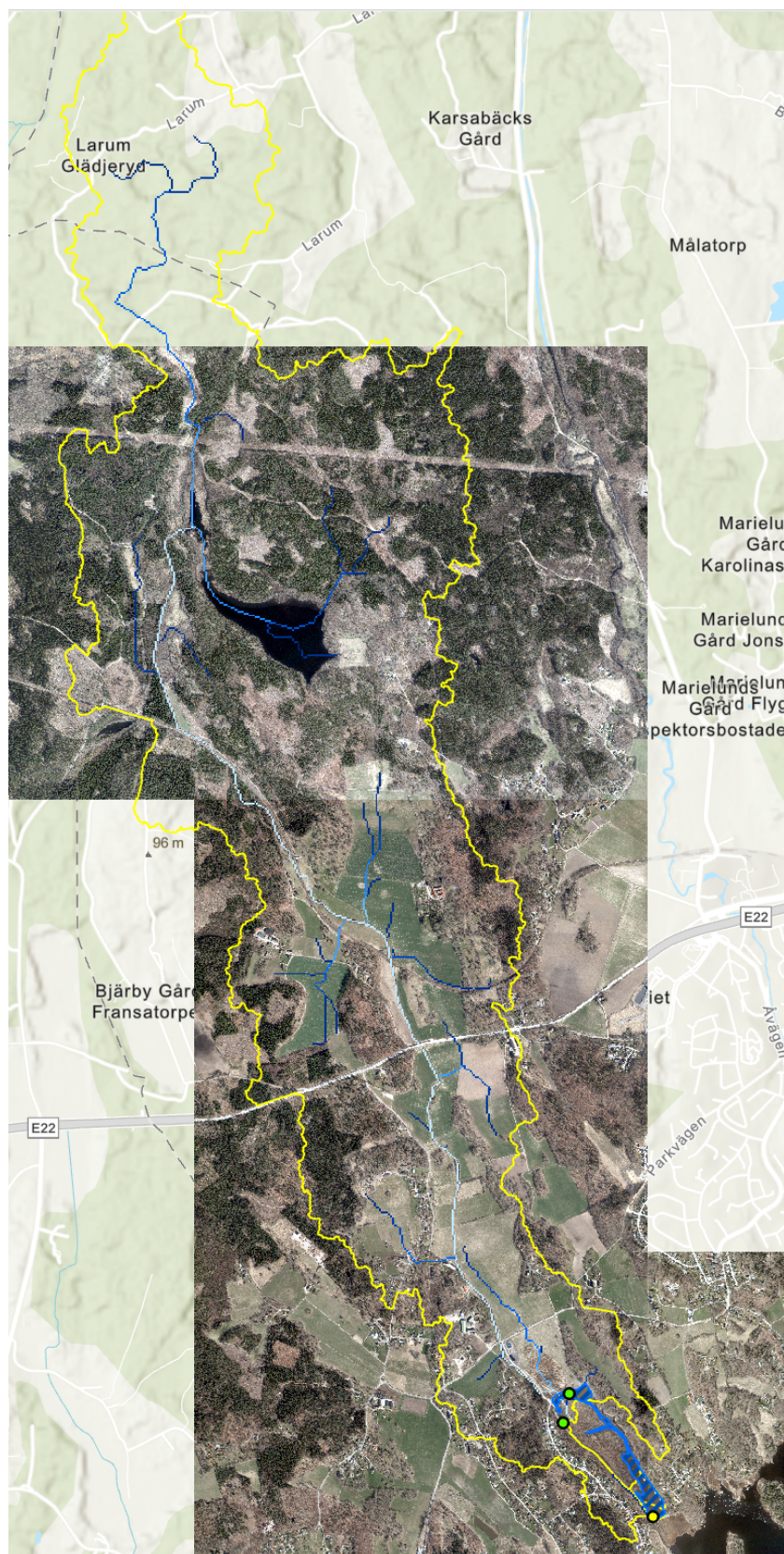
Figur A11. Karta över våtmark H6. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A12. Karta över våtmark H7. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



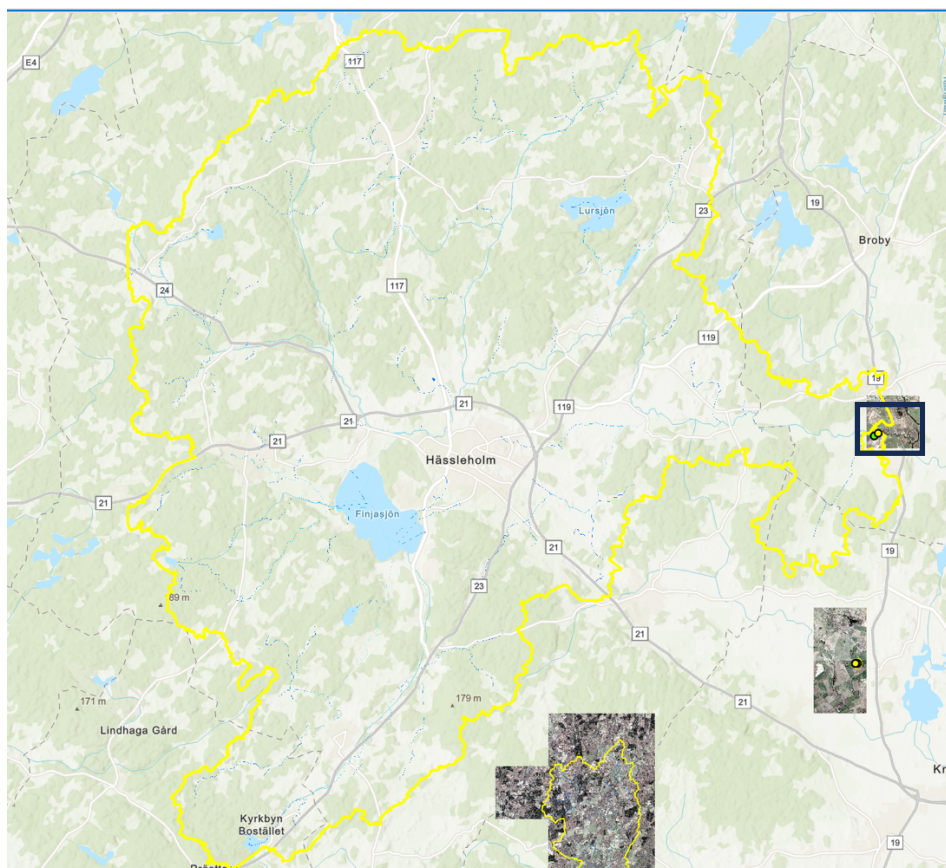
Figur A13. Karta över våtmark H8. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



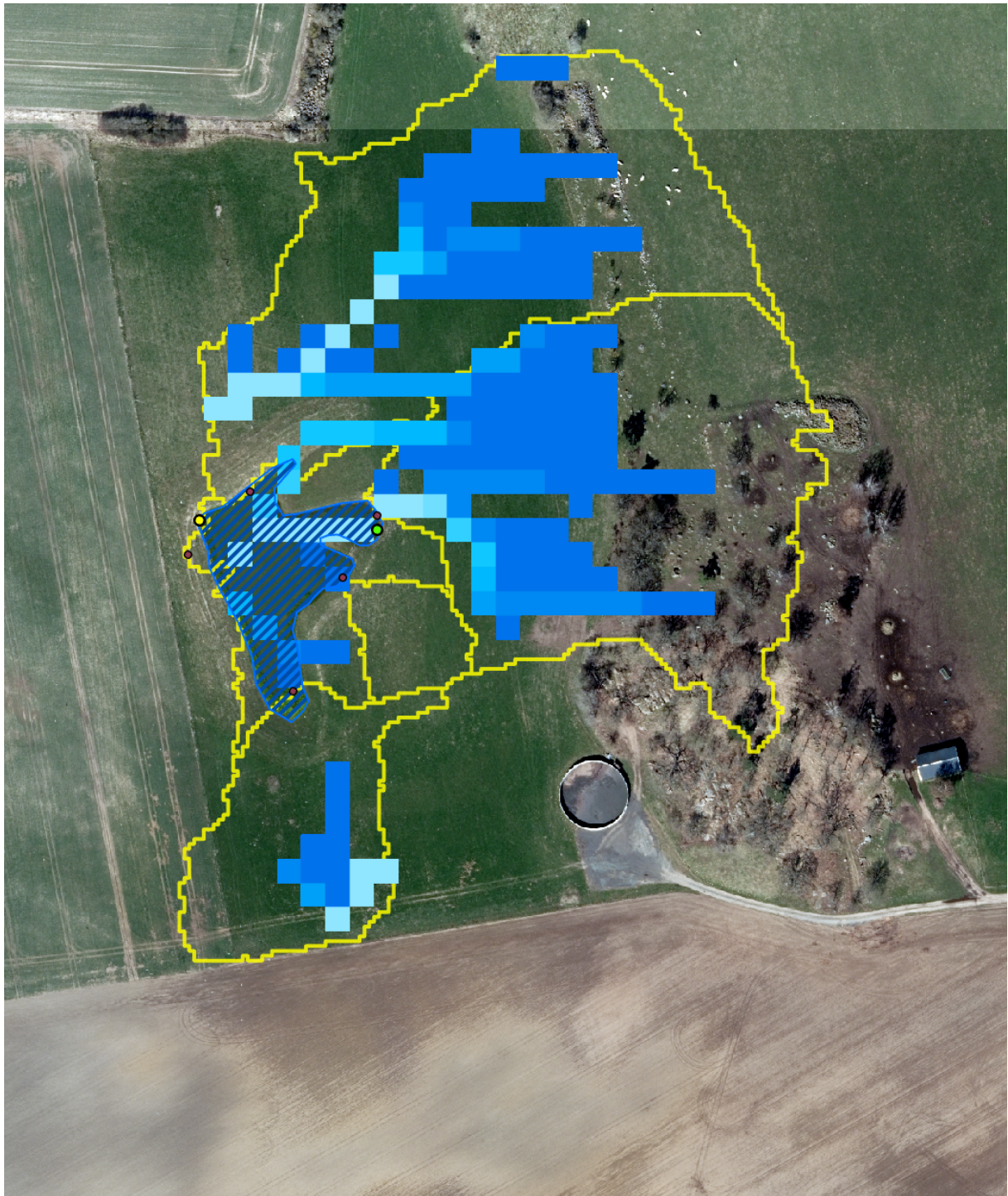
Figur A14. Karta över våtmark K1. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



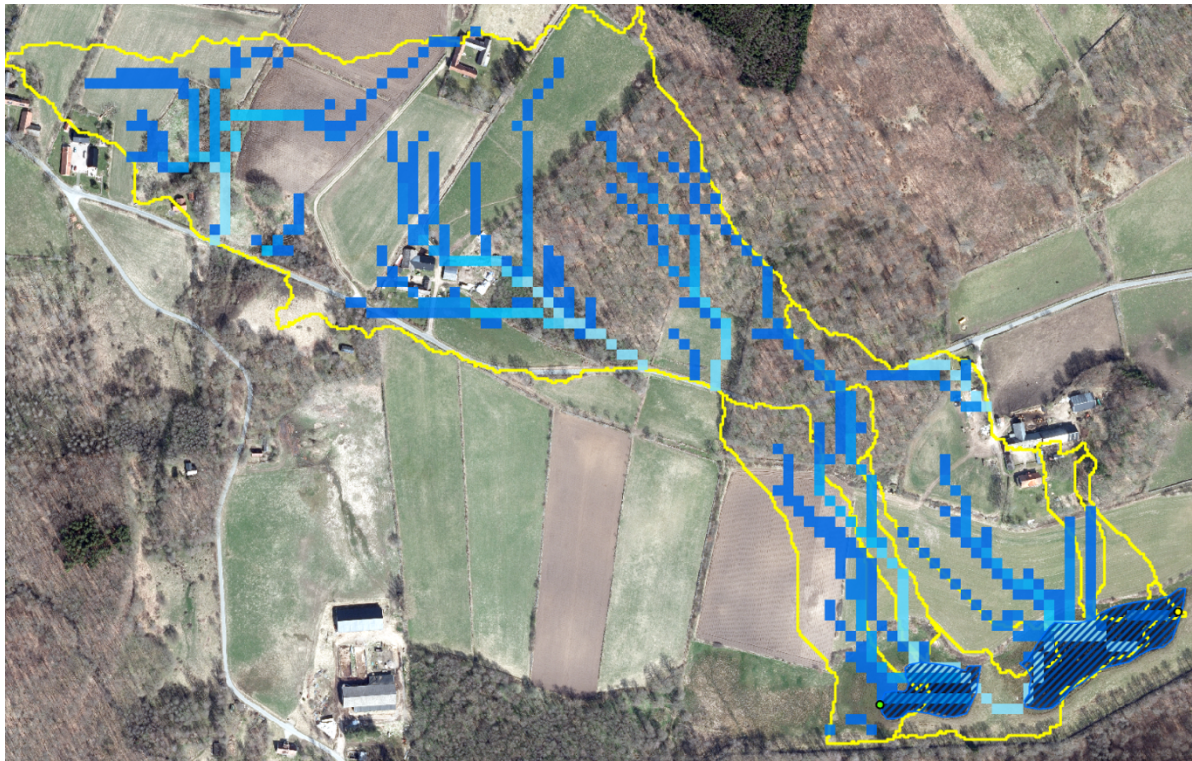
Figur A15. Karta över våtmark K2 och K3. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A16. Karta över våtmark M3. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



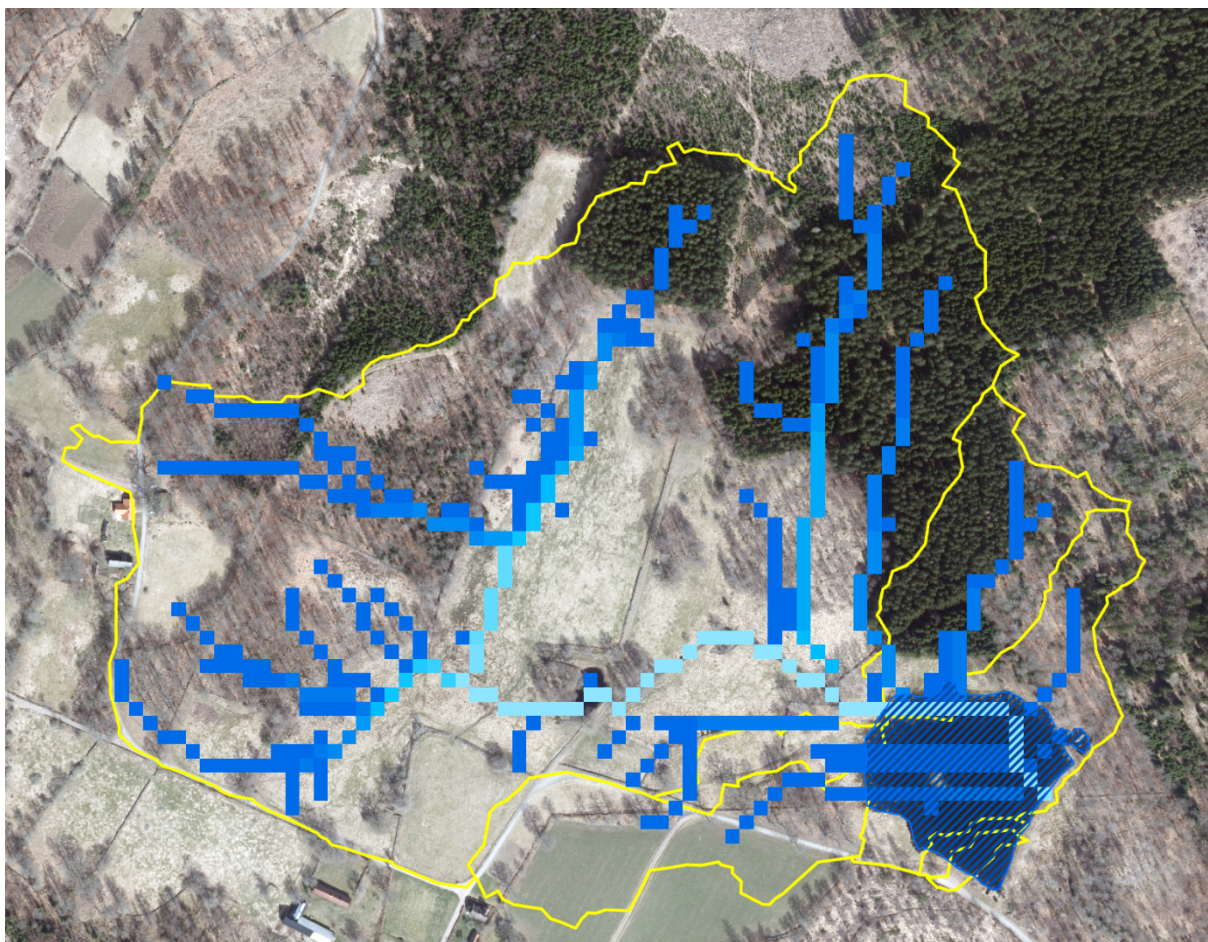
Figur A17. Karta över våtmark M4. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



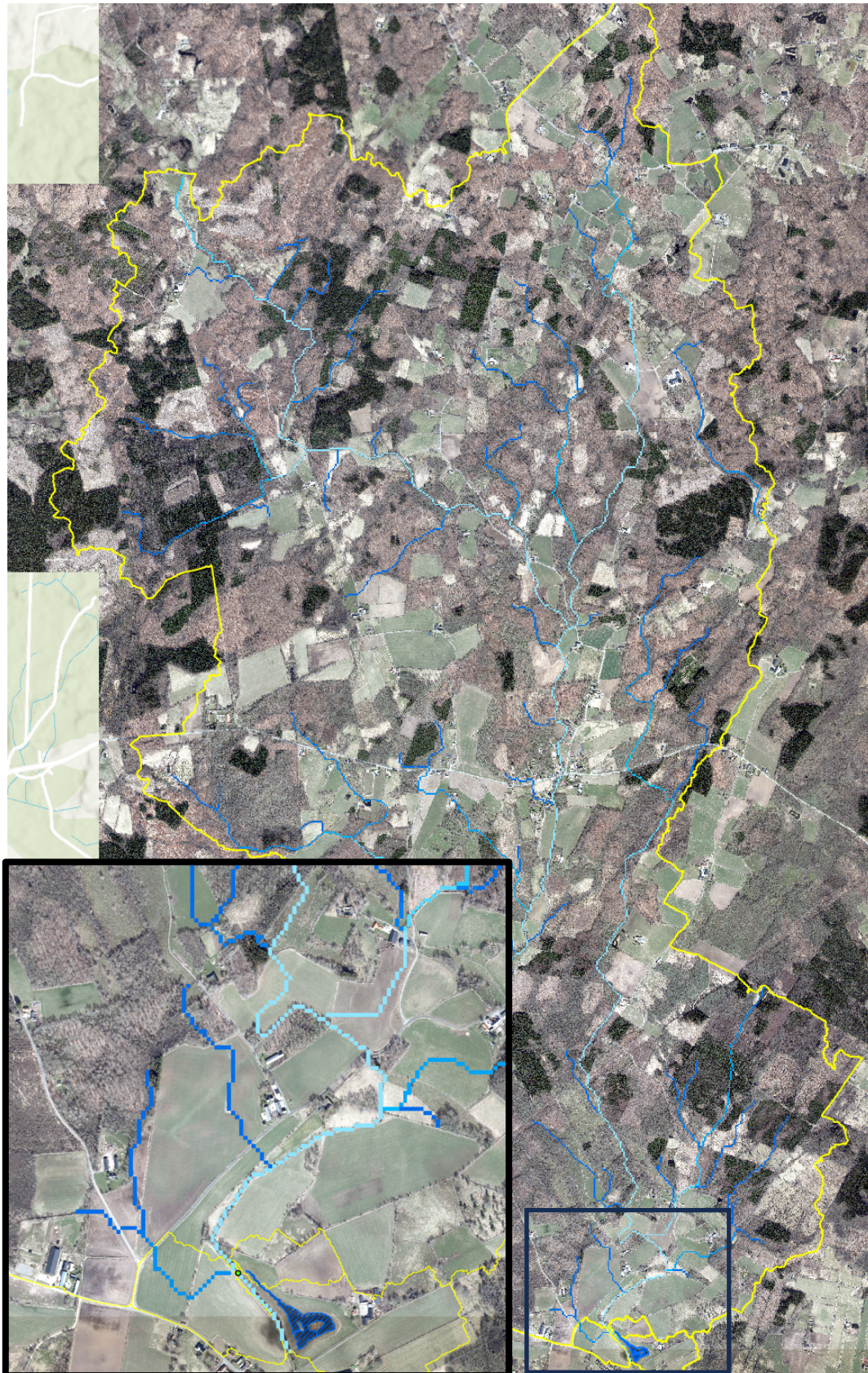
Figur A18. Karta över våtmark M7. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



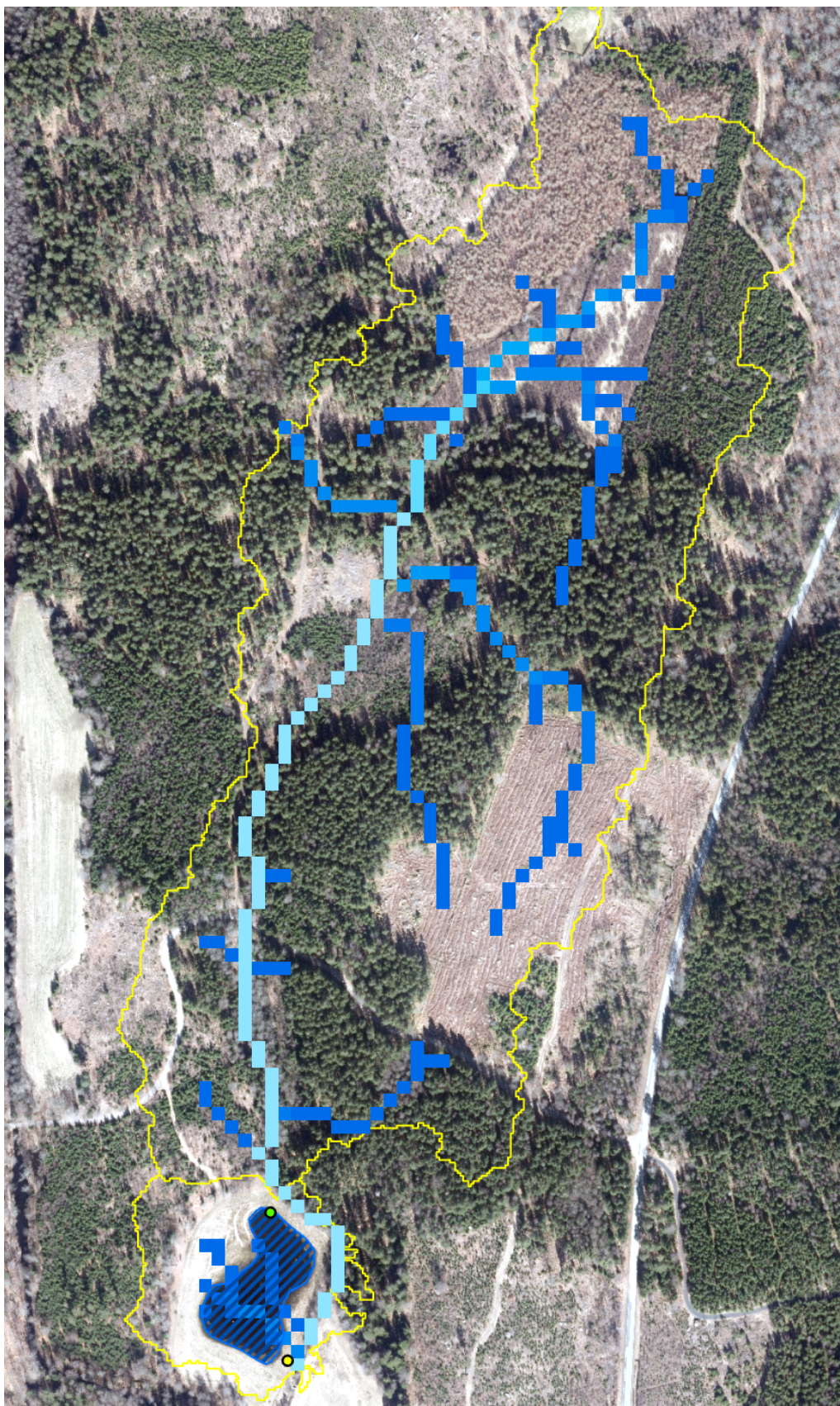
Figur A19. Karta över våtmark M8. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A20. Karta över våtmark M9. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



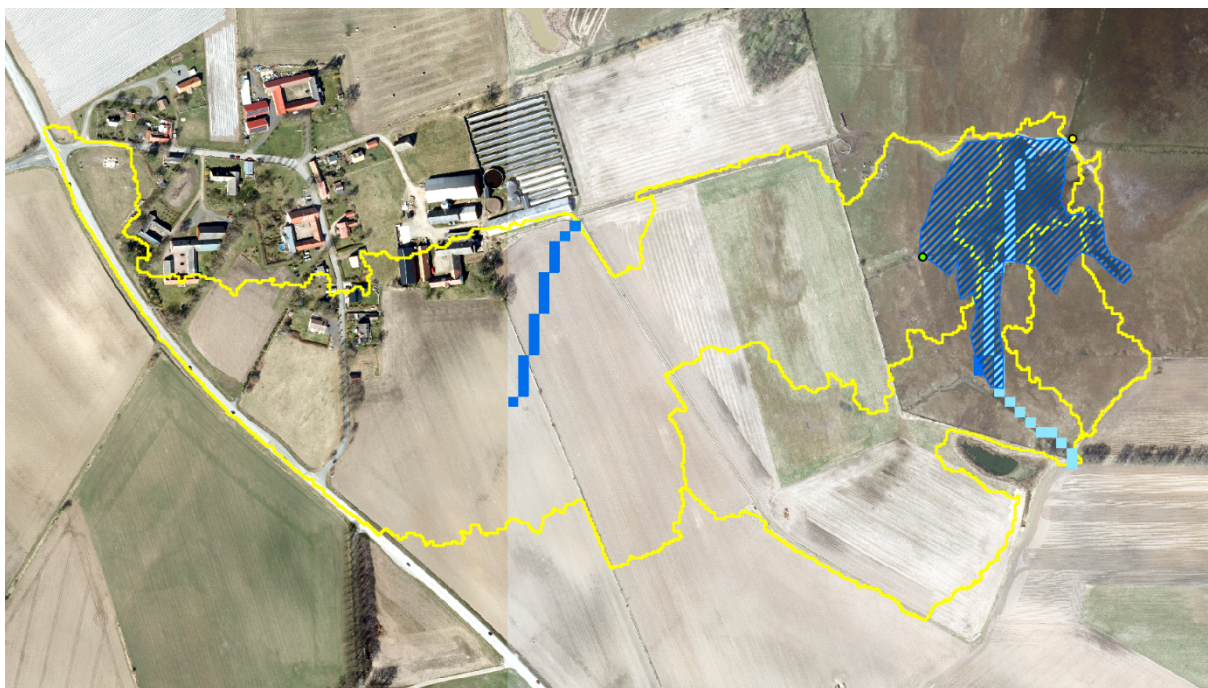
Figur A21. Karta över våtmark M10. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A22. Karta över våtmark M11. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



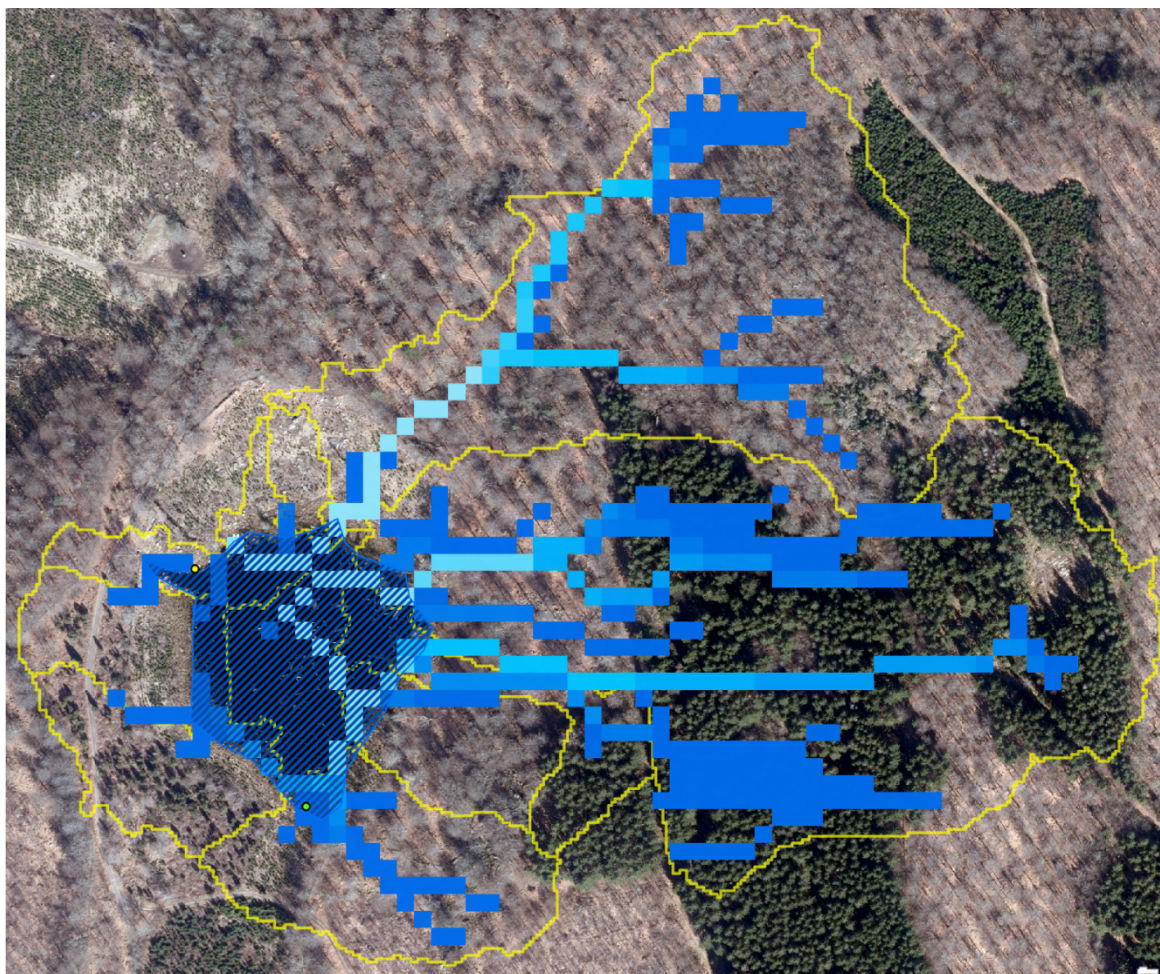
Figur A23. Karta över våtmark M12. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



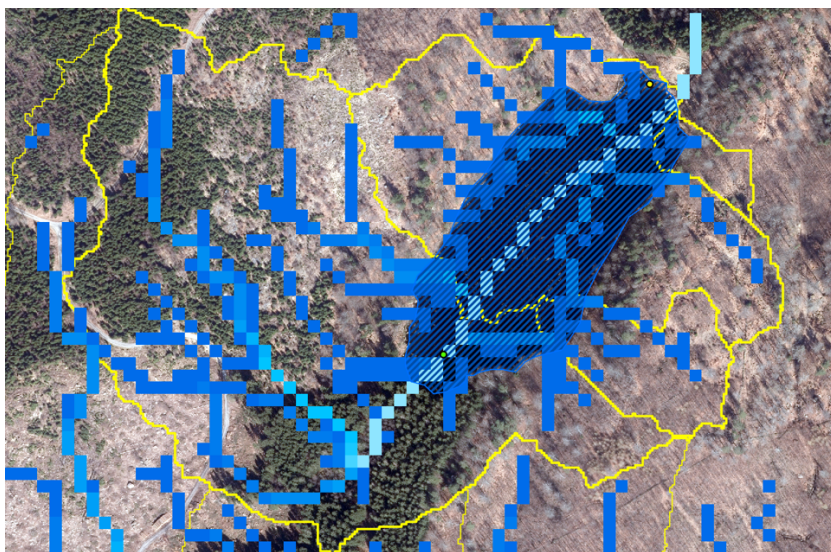
Figur A24. Karta över våtmark M13. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



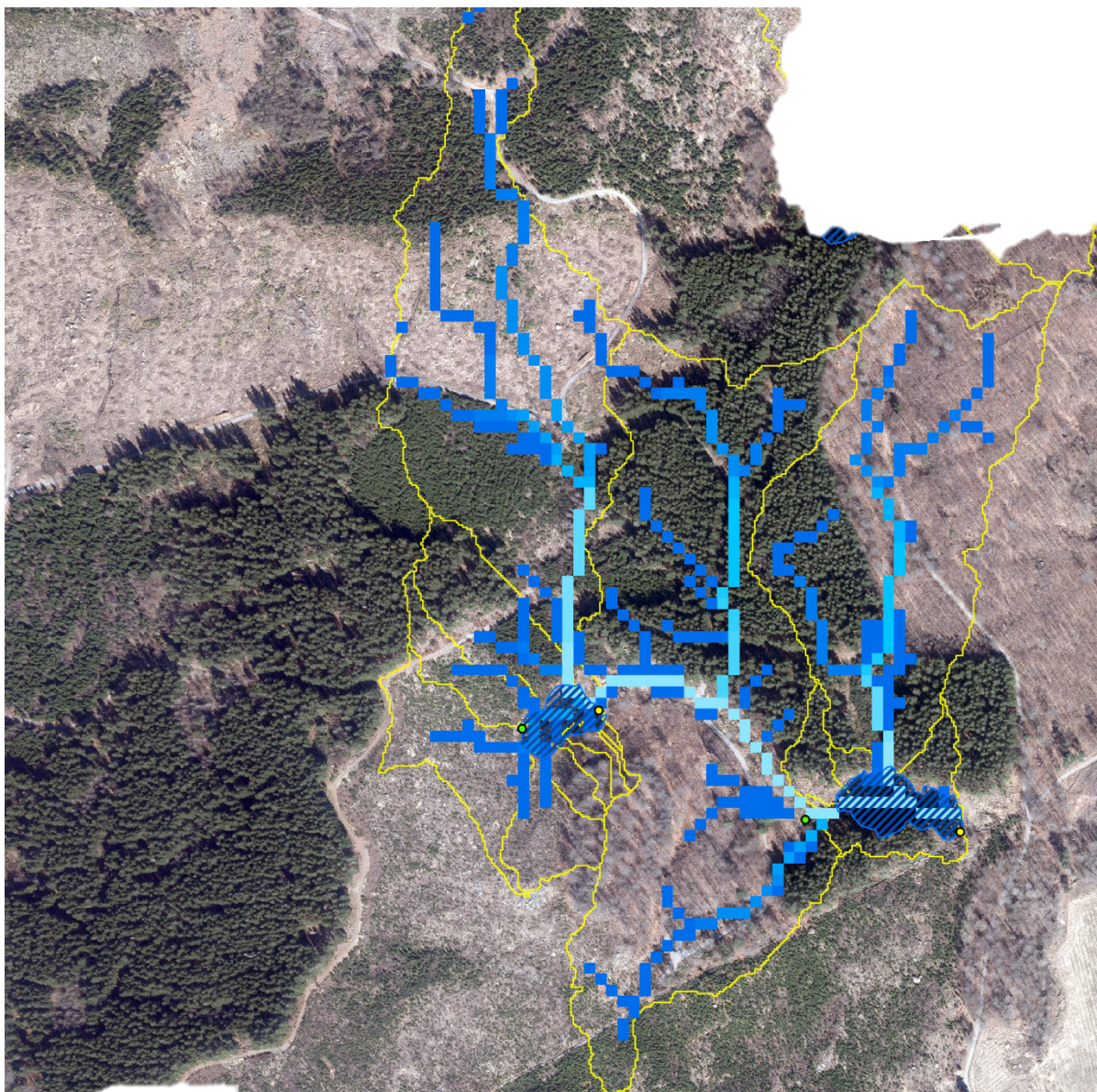
Figur A25. Karta över våtmark M14. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A26. Karta över våtmark M15. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



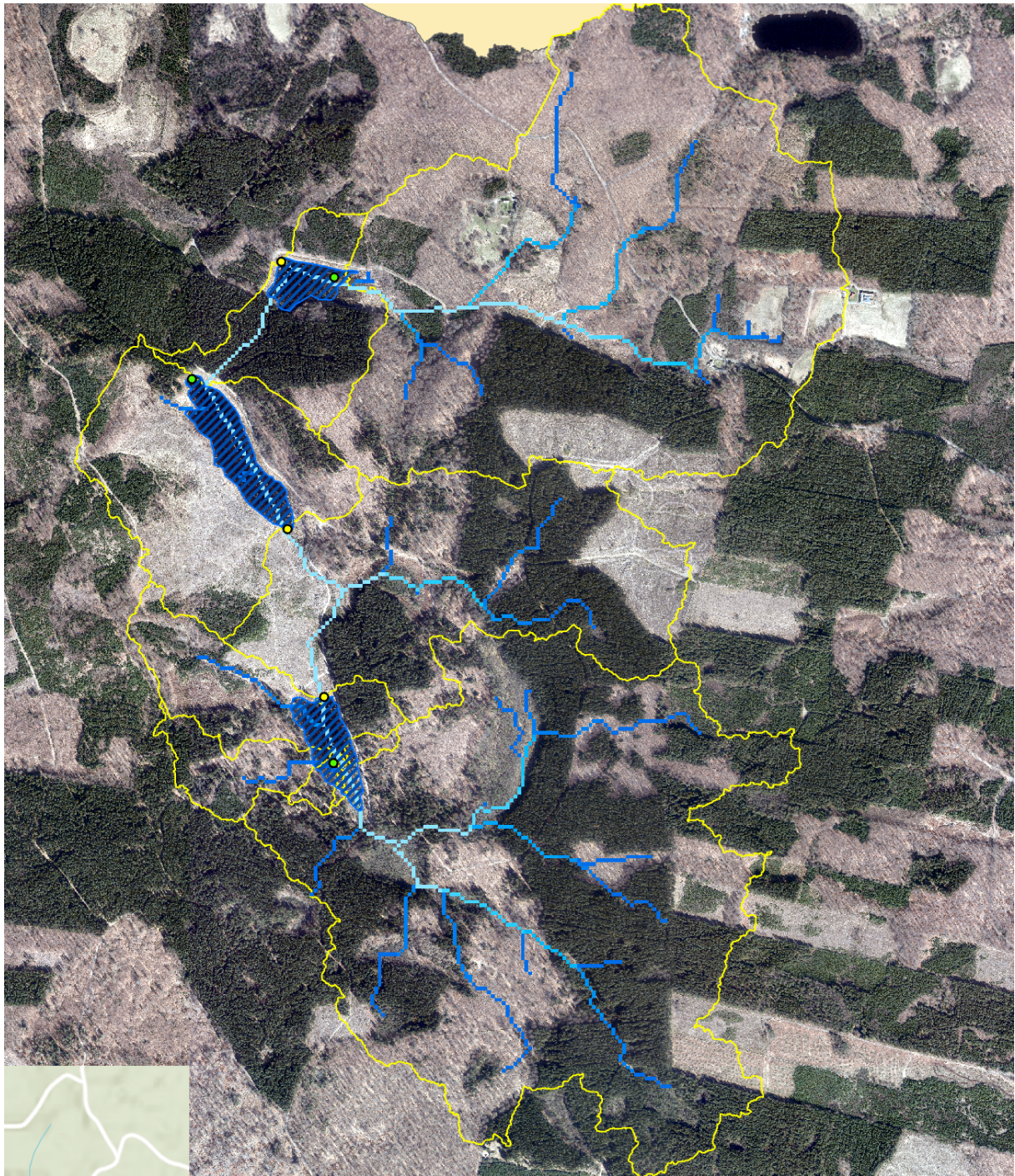
Figur A27. Karta över våtmark M16. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A28. Karta över våtmark M17 och M18. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



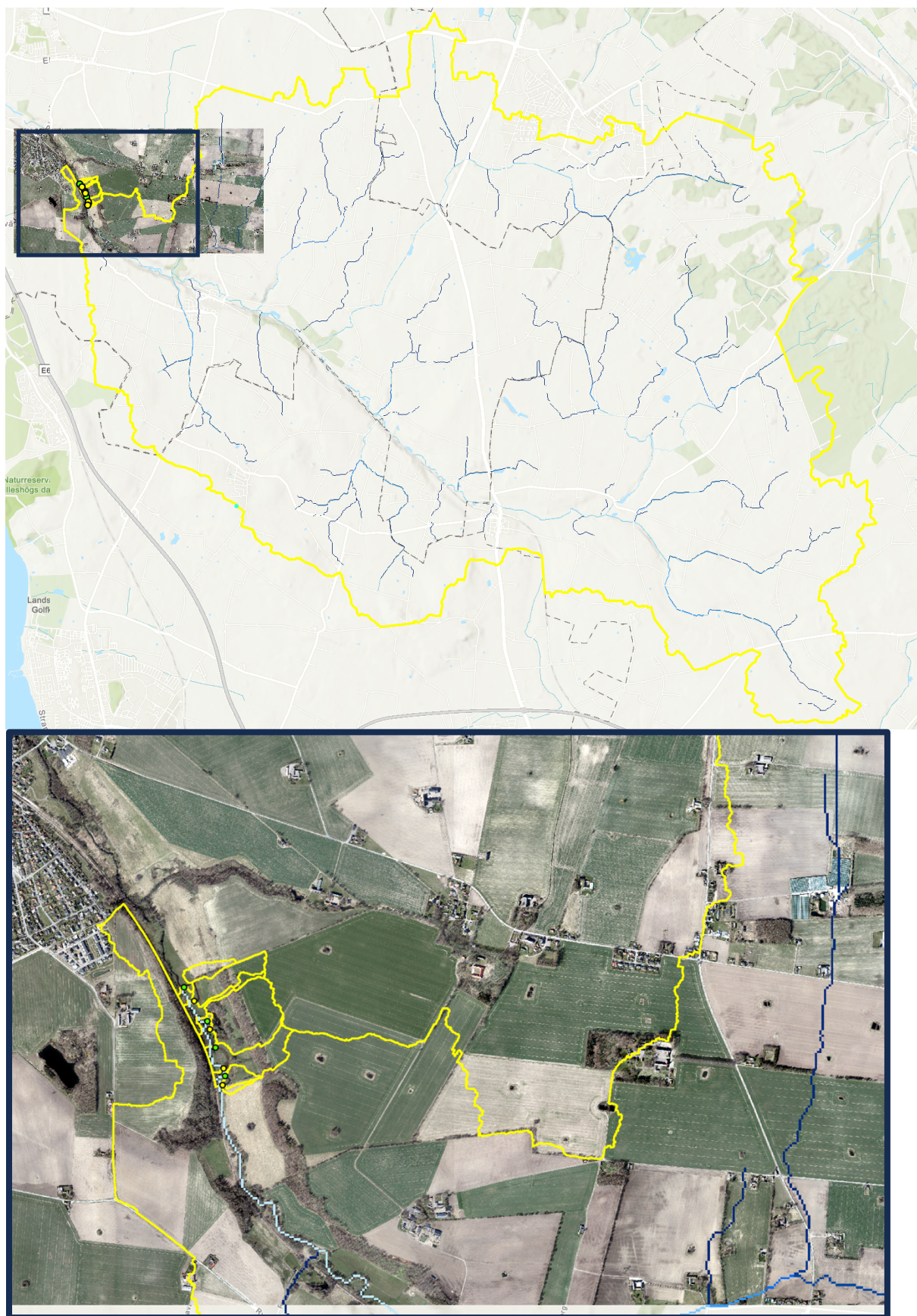
Figur A29. Karta över våtmark M19. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



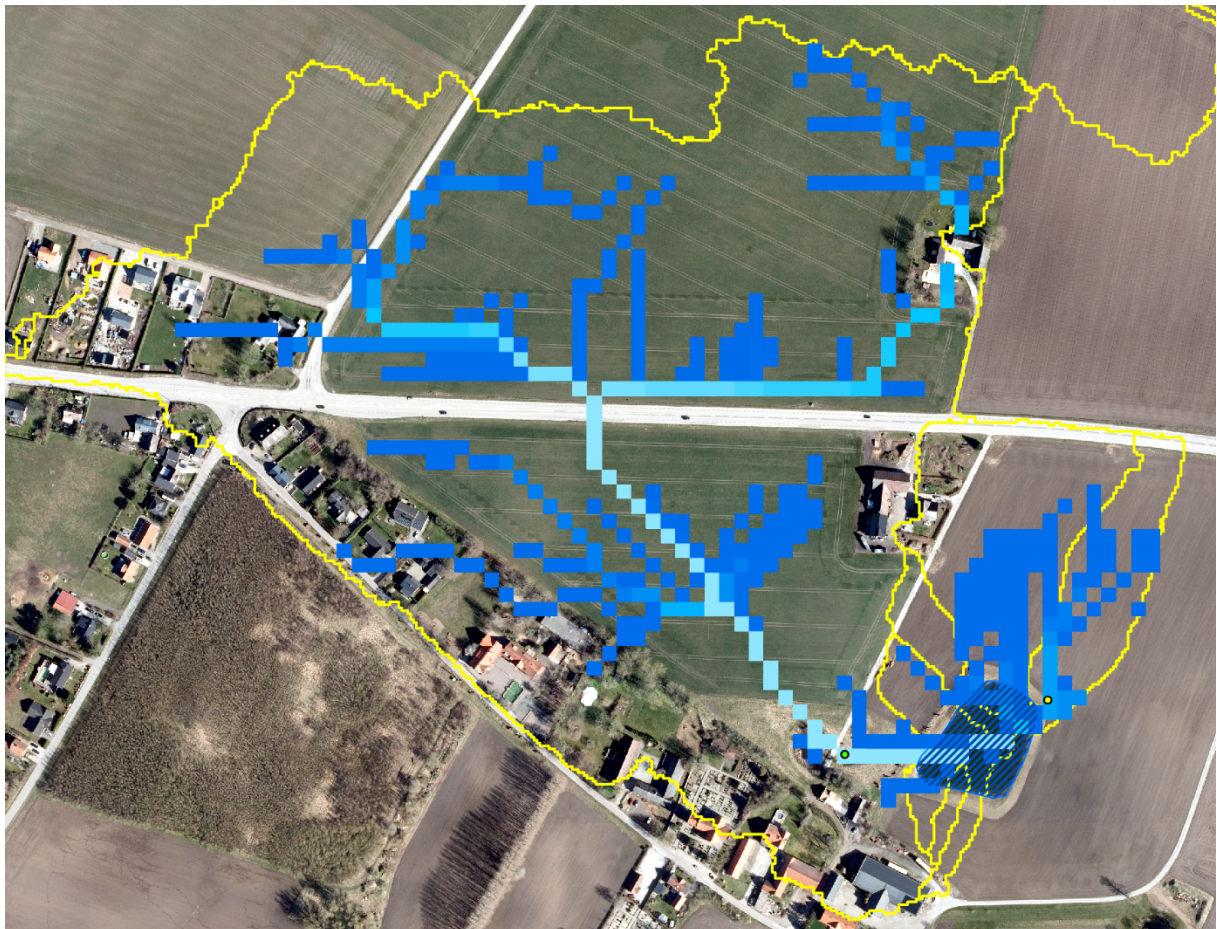
Figur A30. Karta över våtmark M20, M21 och M22. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



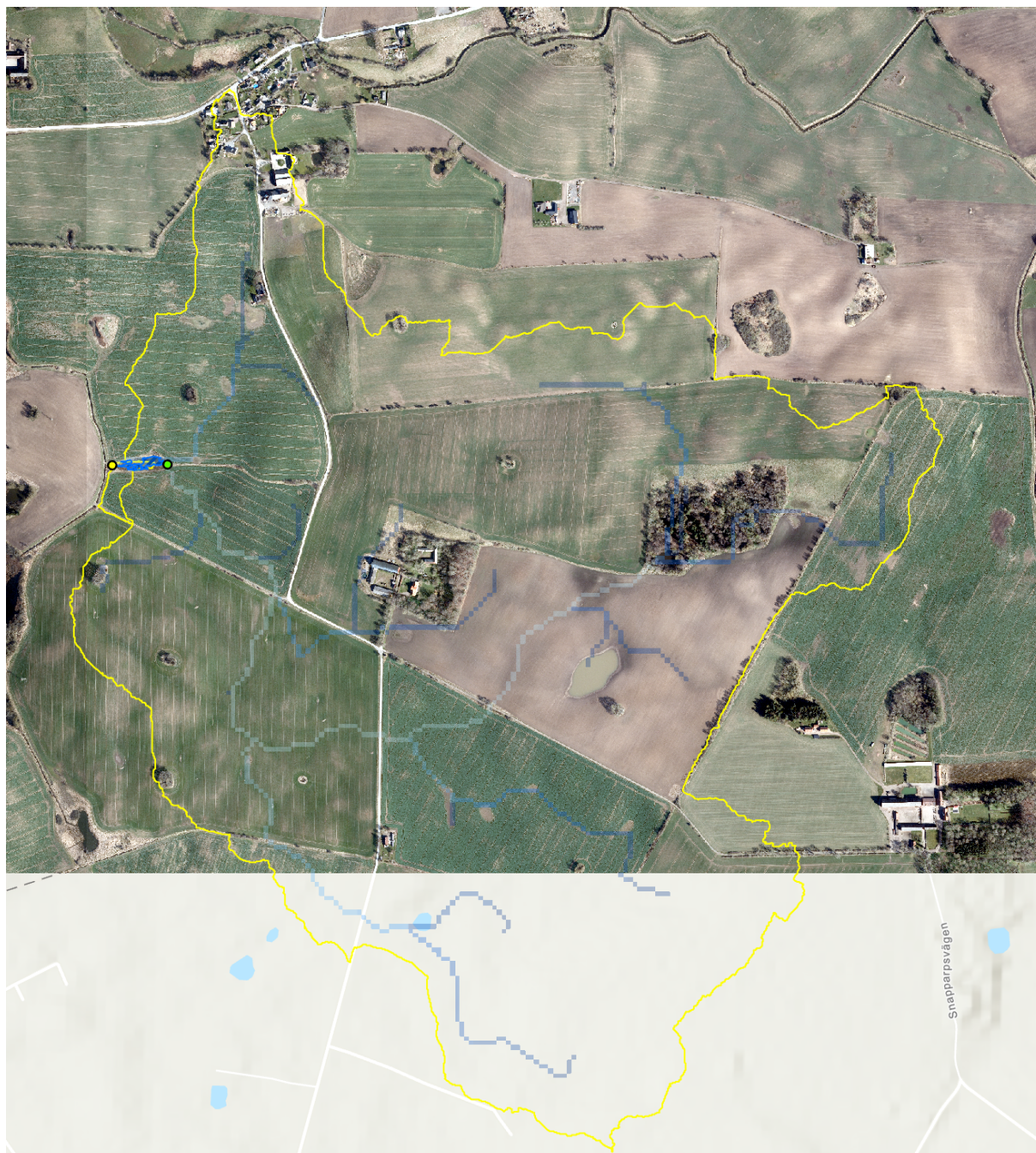
Figur A31. Karta över våtmark M23. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



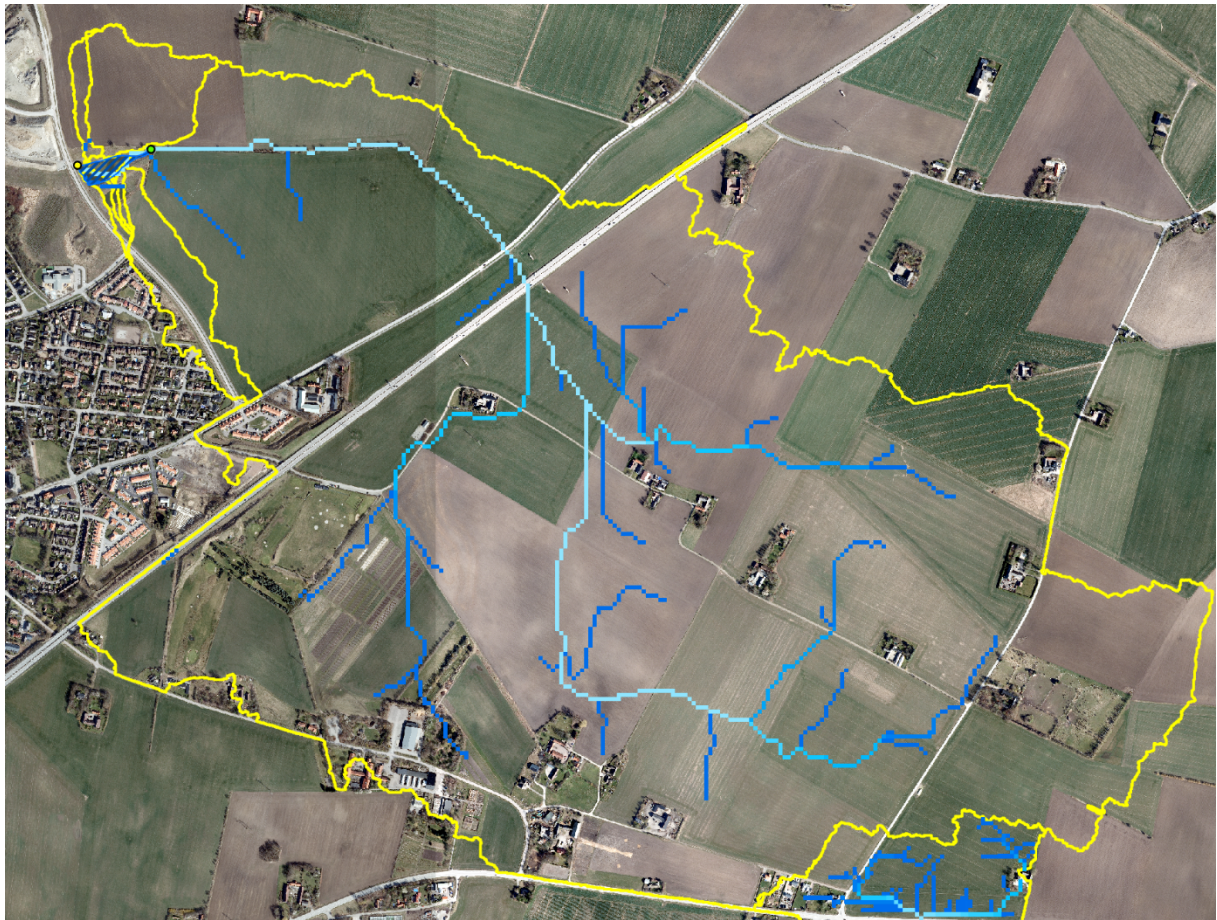
Figur A32. Karta över våtmark M25, M26, M27 och M28. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



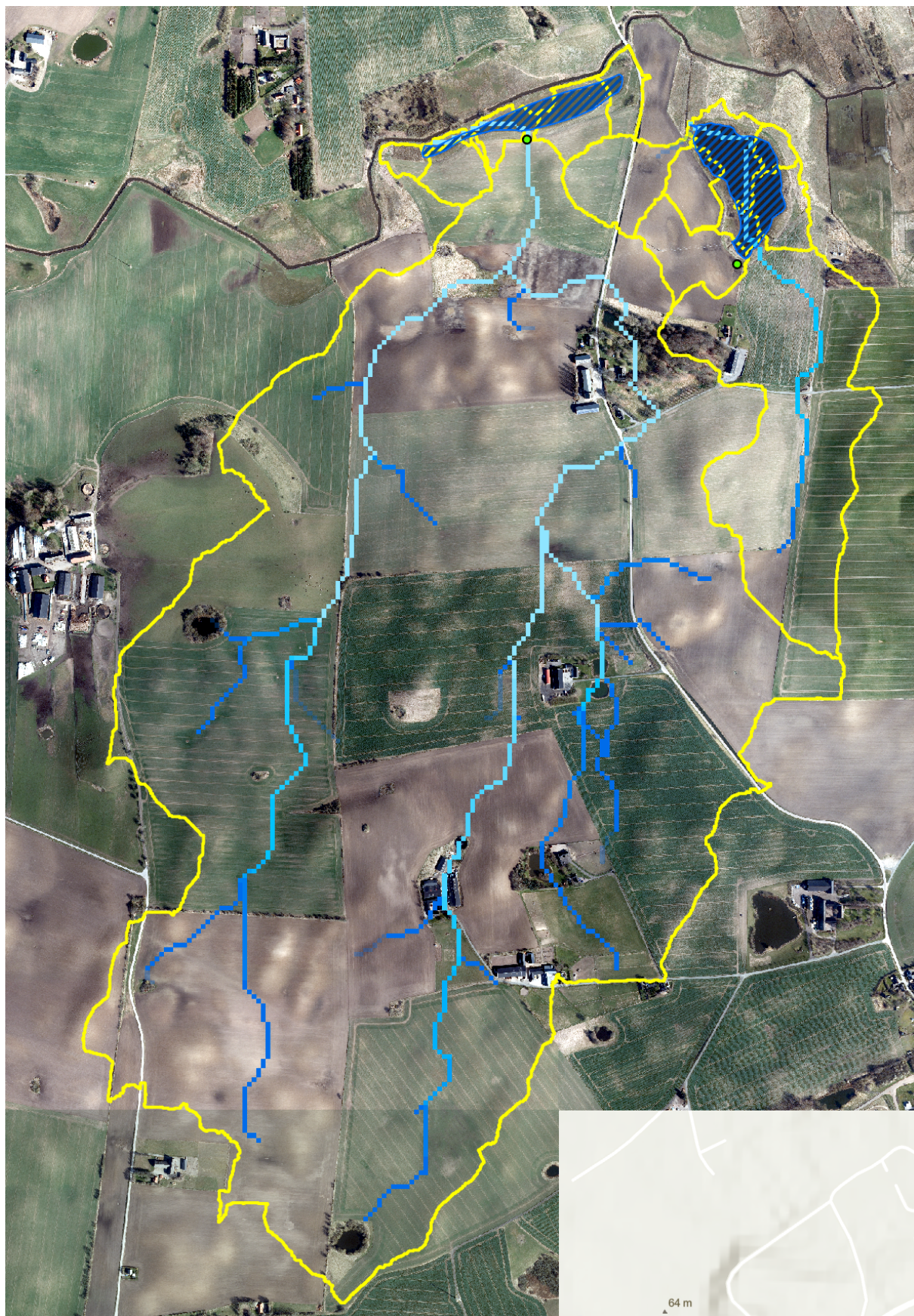
Figur A33. Karta över våtmark M29. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A34. Karta över våtmark M30. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



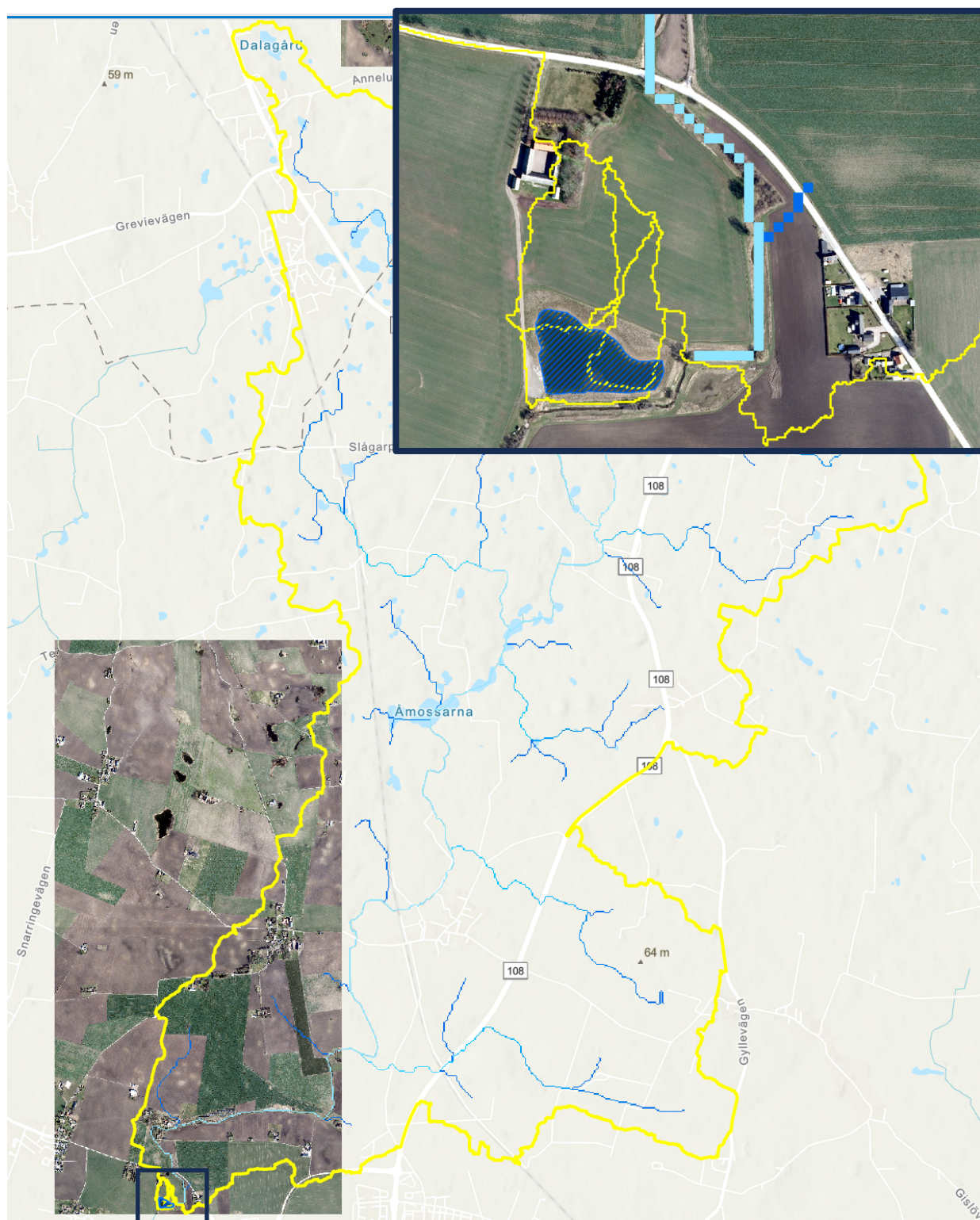
Figur A35. Karta över våtmark M31. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A36. Karta över våtmark M32 och M33. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A37. Karta över våtmark M34. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



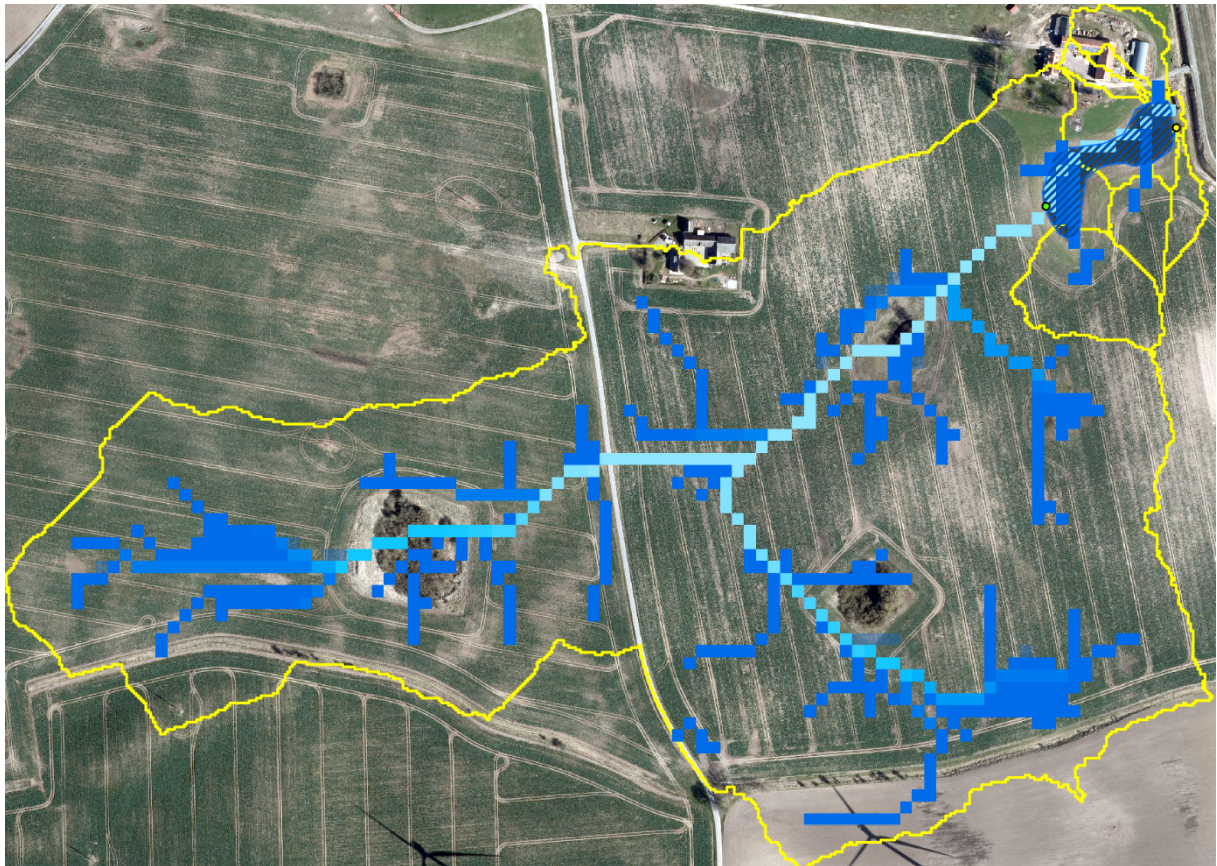
Figur A38. Karta över våtmark M35. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



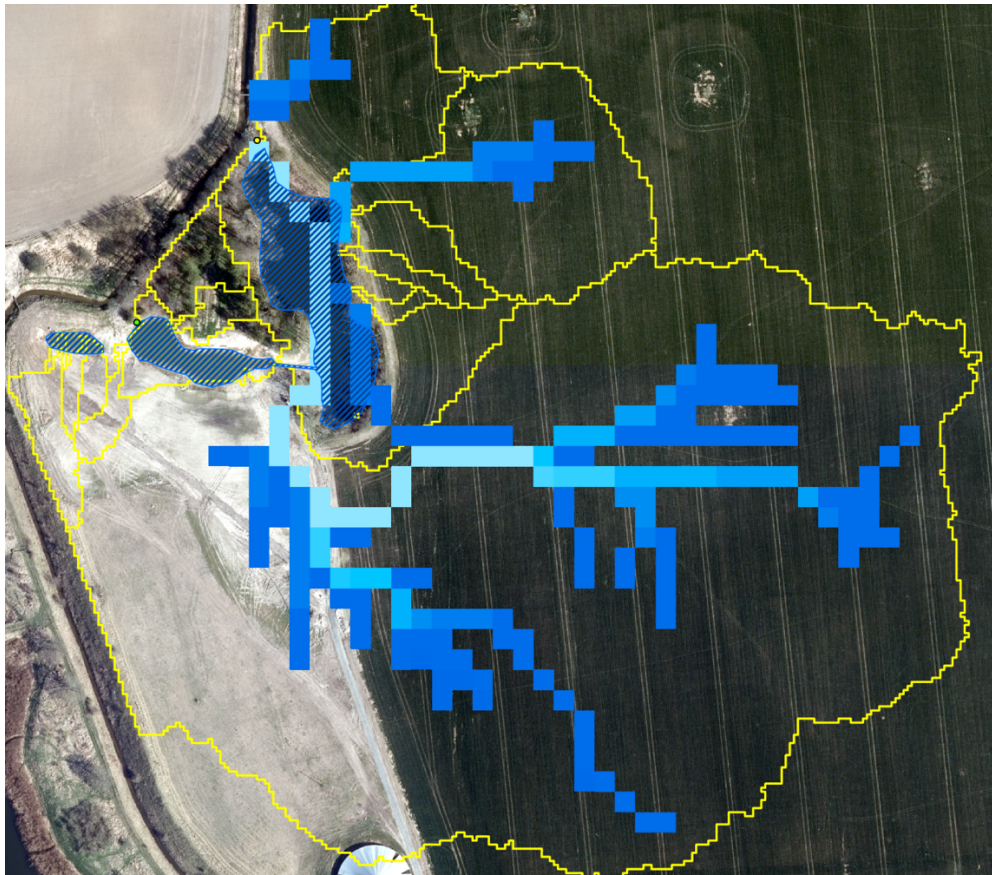
Figur A39. Karta över våtmark M36. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



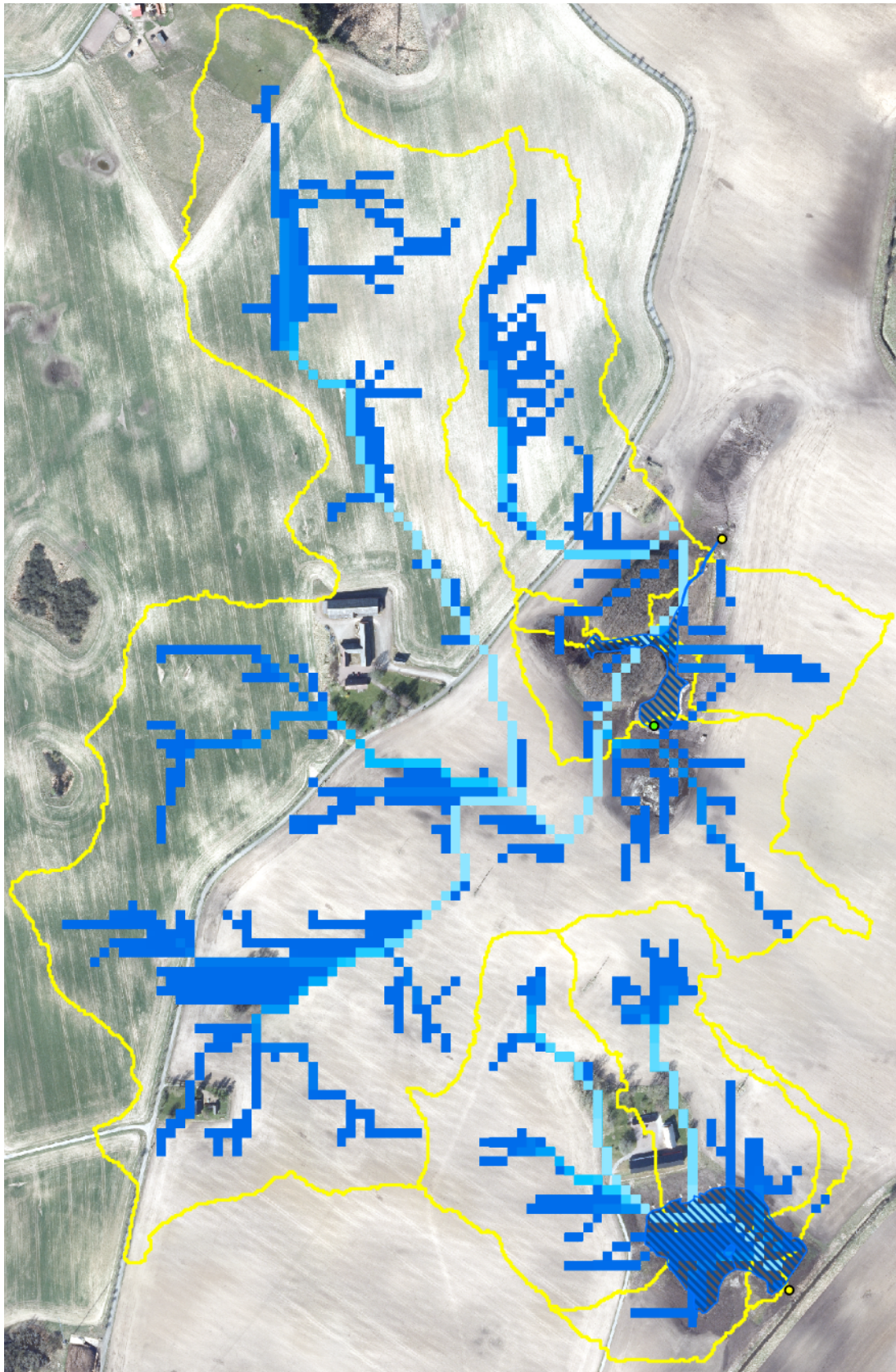
Figur A40. Karta över våtmark M37. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A41. Karta över våtmark M38. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



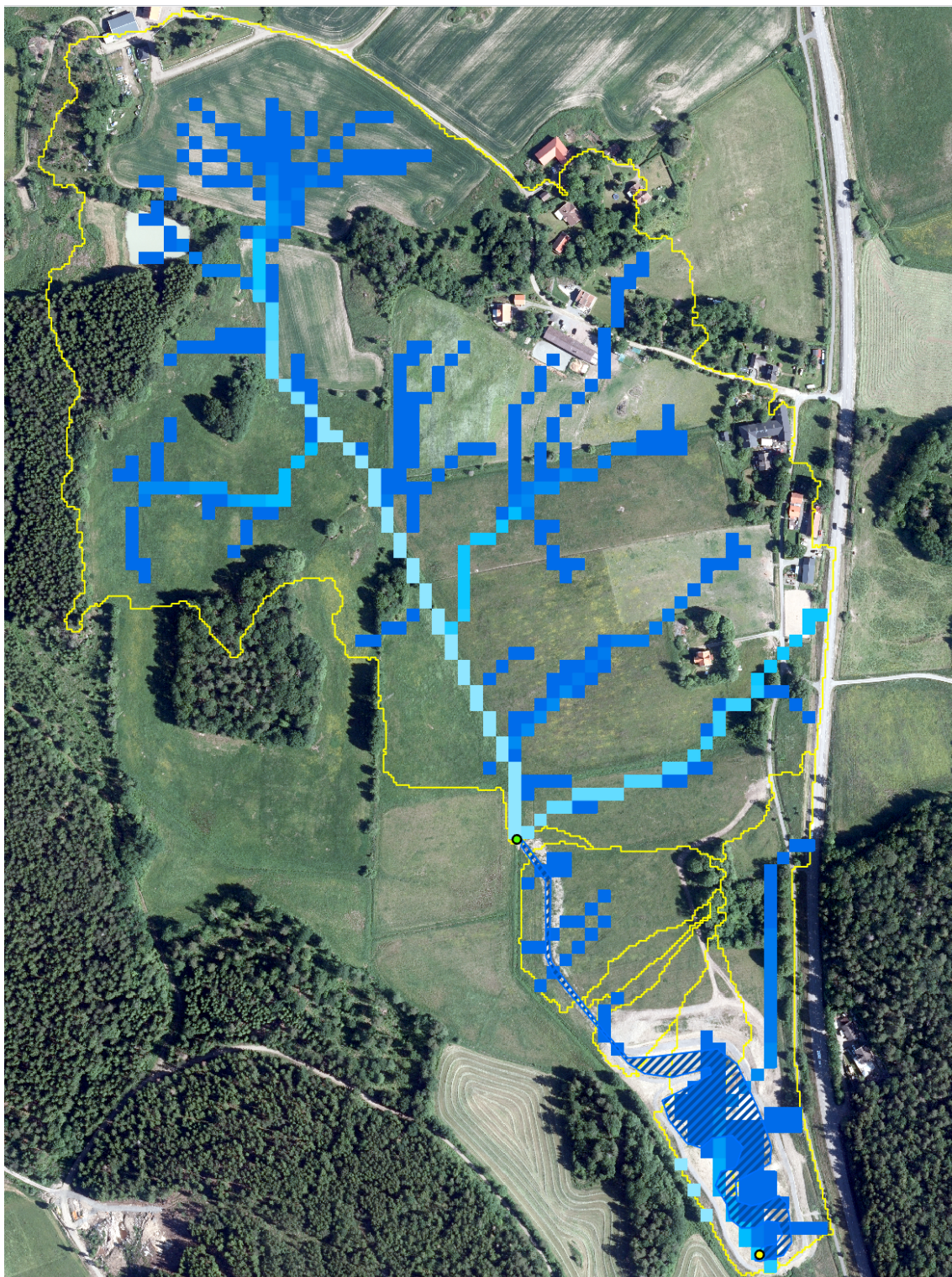
Figur A42. Karta över våtmark M39. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



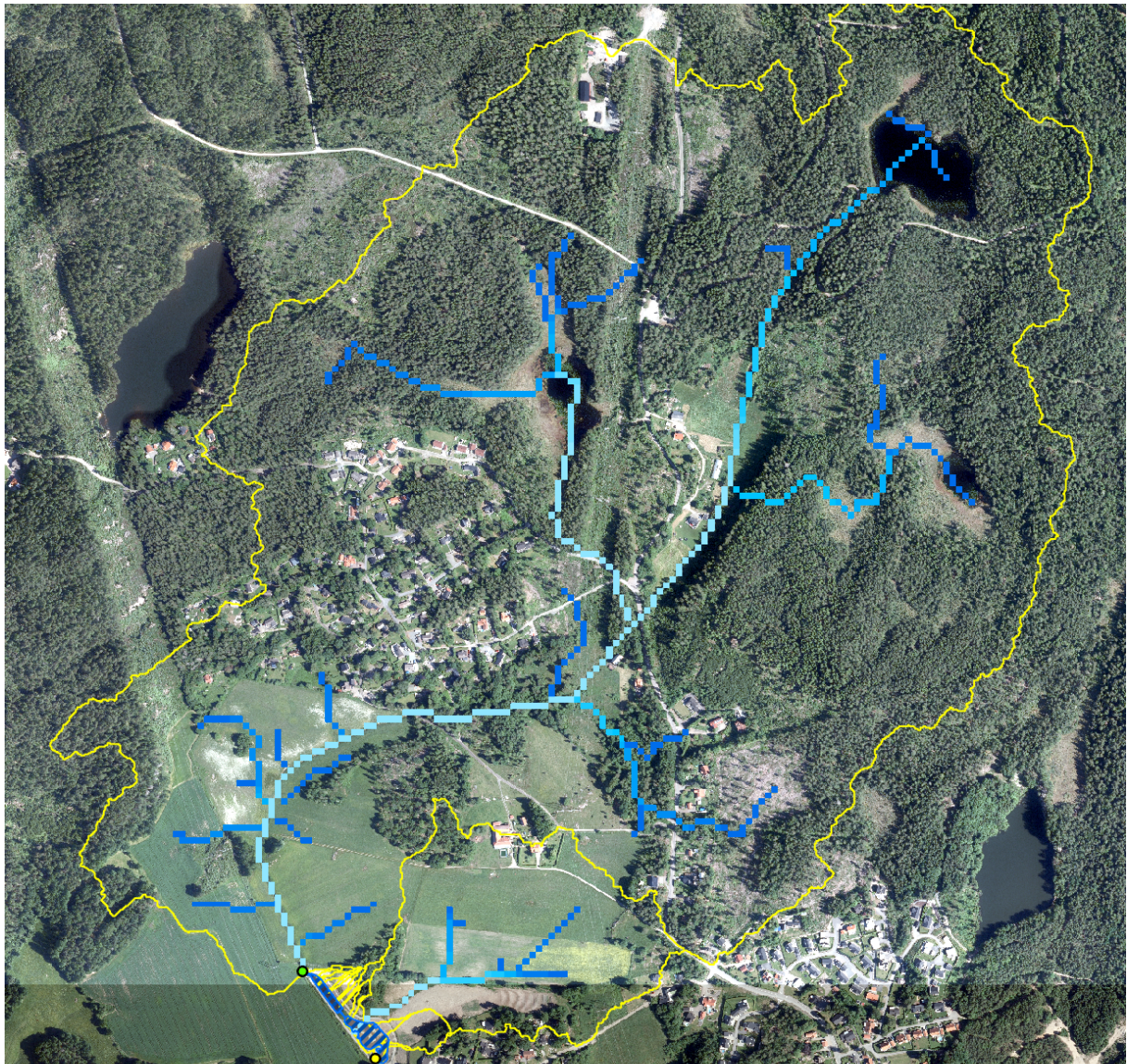
Figur A43. Karta över våtmark M40 och M41. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



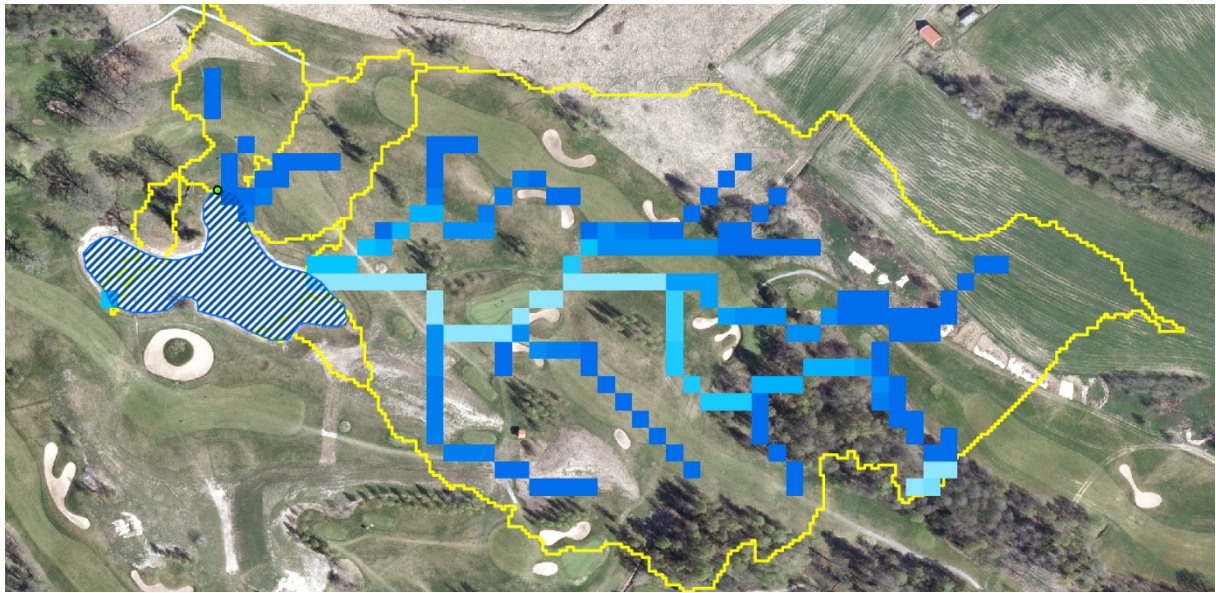
Figur A44. Karta över våtmark M42. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A45. Karta över våtmark O2. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A46. Karta över våtmark O3. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.



Figur A47. Karta över våtmark O4. Blåa pixlar är ackumulerad belastning, ljusare pixlar innebär högre belastning. Gula linjer innesluter avrinningsområdet. Gröna punkter är inflöde, gula utflöde. Våtmarkens area visas av den blårandiga formen.