



Foto: Kristian Littke, Orust kommun 2022

Satellitbaserad identifiering och övervakning av den invasiva främmande arten sjögull



BROCKMANN GEOMATICS
SWEDEN AB



Länsstyrelsen
Västra Götaland

Titel: Satellitbaserad identifiering och övervakning av den invasiva främmande arten sjögull
Utgivare: Länsstyrelsen Västra Götaland
Samverkan med: Länsstyrelserna i Kronoberg, Stockholm, Västmanland och Örebro
Foto framsida: Kristian Littke, Orust kommun 2022

Rapport: 2023:48

ISSN: 1403-168X

Mer information hittar du på: lansstyrelsen.se/vastragotaland/

Sammanfattning

Projektets syfte var att undersöka möjligheten att identifiera och övervaka den invasiva främmande arten sjögull med hjälp av satellitdata. Att inventera i fält är kostnads- och tidskrävande och projektet är en pilotstudie för att se om det går att använda Sentinel-2 data med 10 meters upplösning för att hitta förekomster, kartera utbredning och att följa beståndens förändring över tid. Länsstyrelserna i Kronobergs, Stockholms, Västmanlands, Örebros och Västra Götalands län deltog i pilotprojektet.

Resultaten visar att det går att hitta sjögull genom klassning av satellitdata och att ett satellitbaserat vegetationsindex kan användas för att följa ett bestånds säsong- och mellanårsvariation. Resultaten indikerar även att metoden är överförbar mellan olika satellitbilder och datum och att det inte behövs specifika fältdata för olika områden.

Kontaktuppgifter leverantör:

Petra Philipson & Susanne Thulin
Brockmann Geomatics Sweden AB
Email: petra.philipson@brockmann-geomatics.se
Tel: 070-699 60 46

Innehåll

1.	Bakgrund och syfte	5
2.	Studieområden	6
2.1	Stockholms län – Märstaån	7
2.2	Kronobergs län – Trässhultsjön, Brändeborgsfjorden och Hönshyltefjorden	7
2.3	Västra Götalands län – Grindsbyvattnet	7
2.4	Västmanlands län – Kungsör	7
3.	Satellitdata.....	9
4.	Metoder	11
4.1	Klassning.....	11
4.2	FAI	12
5.	Resultat.....	14
5.1	Spektrala egenskaper	14
5.2	Klassificering.....	14
5.3	FAI	17
6.	Slutsatser	22
7.	Referenser	23

1. Bakgrund och syfte

Målet med Länsstyrelsens arbete med invasiva främmande arter är att förhindra etablering och spridning av arter som har eller kan ha en negativ påverkan på ekosystemet och den biologiska mångfalden. För att kunna prioritera rätt åtgärder för de invasiva arterna behöver Länsstyrelsen veta var dessa arter finns och i vilken utbredning, i förhållande till olika samhällsviktiga funktioner och områdesskydd.

Den invasiva arten sjögull har observerats i Stockholms, Kronobergs, Västmanlands, Örebros och Västra Götalands län under det senaste decenniet och på flertalet platser pågår bekämpning av bestånden. Sjögull konkurrerar med svenska arter om ytan och det finns andra potentiella effekter, så som nedskuggning för arter som lever under ytan och påverkan på mänskliga aktiviteter i form av försvårat fiske, bad och båttrafik (Kolodyazhnaya, 2021, Schyberg, 2014).

Inventering av sjögullsförekomster i fält är kostnads- och tidskrävande och ett mer effektivt alternativ för att identifiera och följa utbredningen, och för att stödja prioritering av insatser är därför av intresse. En metod baserat på satellitdata med hög rumslig och temporal upplösning skulle kunna underlätta länsstyrelsernas arbete med att hitta och övervaka samt att följa upp resultat från bekämpningsåtgärder.

EU:s jordobservationsprogram Copernicus är ett operationellt program med ett antal satellitburna sensorer för insamling av data för miljö- och klimattillämpningar. De olika satelliterna i programmet kallas Sentineller (1–6) och ett antal av dem kan användas för akvatiska tillämpningar. De största fördelarna med satellitbildstekniken är den stora geografiska täckningen och att de passerar flera gånger per vecka över Sverige.

Syftet med pilotstudien har varit att undersöka möjligheten till automatiserad klassificering och analys av Sentinel-2 bilder med 10 meters rumslig upplösning för att identifiera sjögullsbestånd och följa beståndets utveckling över tid. Val av testområden har skett i samråd med kontaktpersonerna för deltagande länsstyrelser:

- Anna Dimming - Länsstyrelsen Västra Götaland
- Peter Olsson Scholz - Länsstyrelsen Kronoberg
- Carina Tennfors - Länsstyrelsen Västmanland
- David Kvarnsudde - Länsstyrelsen Örebro
- Nicole Reid och Jennie Barthel Svedén - Länsstyrelsen Stockholm

2. Studieområden

Baserat på länsstyrelsernas inventeringar och kunskap om förekomst av sjögull i respektive län listades en antal sjöar och platser som var möjliga att arbeta vidare med i projektet (Tabell 1). Av dem valdes ett antal platser med varierande täthet i sjögullsbestånd, där det fanns annan flytande vegetation, till exempel näckros och nate, områden där fältkartering har genomförts och där bekämpningsinsatser har gjorts, ut för vidare analys. Utläggning av flytande bekämpningsramar med fiberduk har gjorts i olika utsträckning i de flesta av studieområdena. Förutom de fynd som har rapporterats till Artdatabanken (SLU) och som ofta utgörs av observationer från mindre inventeringar och enstaka år (förutom i Kungsör), saknas regelrätta positionerade fältbaserade observationer för de sjöar och vattensamlingar som ingår i analysen.

Tabell 1. Föreslagna studieområden från länen med kända sjögullsbestånd. Områden markerade med fet stil har analyserats i satellitdata.

Studieområden	Kommentar
Stockholm län	
Märstaån, dammen	Tätt sjögullsbestånd i större delen av dammen. Pågående bekämpning med ramar.
Märstaån, utloppet	Ingen sjögull, men annan flytbladsvegetation för jämförelse.
Kronoberg län	
Gemlasjön	
Trässhultsjön	Ett litet sjögullsbestånd bekämpat med ram.
Brändeborgsfjorden	Ett flertal täta sjögullsbestånd. Pågående bekämpning med ramar.
Hönshyltefjorden	Ett flertal täta sjögullsbestånd
Hättegöl	
Fräjen	
Västra Götaland	
N Grindsbyvattnet	Sjögull- och näckrosbestånd i farleden. Pågående bekämpning med ramar och flytdukar.
Grindsbyvattnet S	Ett flertal täta sjögullsbestånd i sjöns södra del som ännu ej bekämpas.
Viskan - Hökerum	Pågående bekämpning med ramar
Tidan	
Västmanland län	
Kungsör	Ett flertal täta sjögullsbestånd och näckros. Pågående bekämpning med ramar. Information från fältinventering finns.

2.1 Stockholms län – Märstaån

Dammen ligger i Steningedalens naturreservat och är anlagd mellan 2009 och 2011 som en del av de åtgärder som vidtagits för att rena Märstaån från framför allt fosfor (Norling, 2011). Rapporter om förekomst av sjögull registrerades 2019 (SLU, artdataportalen) men det går att skönja mindre förekomster i både ortofoton och satellitbilder redan 2015 och sedan tydligt under 2017. Märstaån rinner ut i Skarven, Mälaren.

2.2 Kronobergs län – Trässhultsjön, Brändeborgsfjorden och Hönshyltefjorden

Sjögull förekommer i ett antal sjöar och vattendrag i Kronobergs län, framför allt i Mörrumsåns avrinningsområde. Brändeborgsfjorden och Hönshyltefjorden är olika delar av samma vattenförekomst. Båda har många sjögullsbestånd och det första fyndet gjordes redan 2008 (SLU Artdataportalen). Där pågår bekämpning med ramar i stor skala på flera ställen sedan några år tillbaka (Smålander & Olsson, 2020). Trässhultsjön ligger nordväst om fjordarna och är sammankopplad med dem. Där har sjögull bekämpats och där ska det enligt uppgift finns blandbestånd av näckros och sjögull. Många av sjögullsbestånden i Brändeborgsfjorden och Hönshyltefjorden har rundade former med en tydlig yttre ”tillväxtzon”, som ibland glesas ut i mitten (Se exempel i Figur 5 och Figur 8).

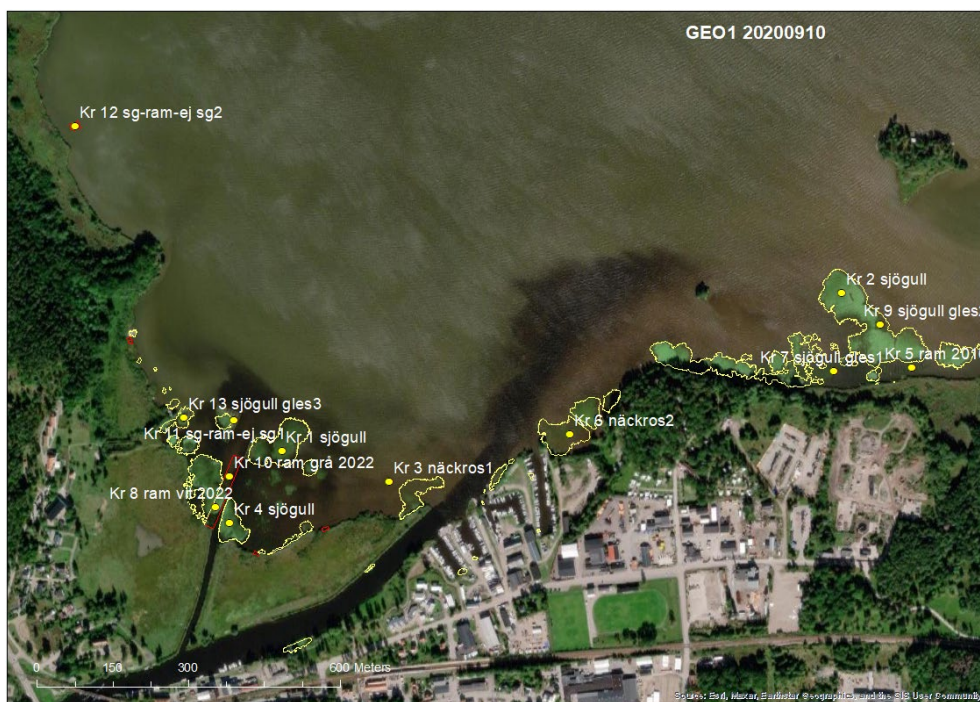
2.3 Västra Götalands län – Grindsbyvattnet

I Grindsbyvattnet på Orust förekommer sjögull sedan ett antal år (SLU Artdataportalen, observationer redan 1999). Bland annat finns det ett bestånd i sjöns smalare del där många fritidsbåtar passerar. För att försöka hindra spridning från passagen har man försökt bekämpa förekomsten och öppna en farled med hjälp av täckande aluminiumramar med fiberduk och presenning i samarbete med Orust kommun.

2.4 Västmanlands län – Kungsör

I Mälaren förekommer sjögull på flera platser och vid Kungsör har bestånd observerats sedan 2009 (SLU Artdataportalen). Spridning av sjögull har skett till Arbogaån från sjön Väringen och sedan vidare in i Mälaren för ca 20 år sedan (Schyberg, 2014). Bekämpning med olika typer av ramar har skett under senare år. Målet med ramarna har dels varit att hålla utloppet från Arbogaån öppet, och att begränsa förekomsten utanför badplatsen vid Ekuddens camping, norr om avloppsreningsverket och vattenverket samt vid Skillingsudd.

Området vid Kungsör inventerades 2022 och sjögullens utbredning karterades (Figur 1). Informationen har använts som stöd vid val av analyspunkter för studien ihop med satellitbilder från olika tidpunkter och källor.



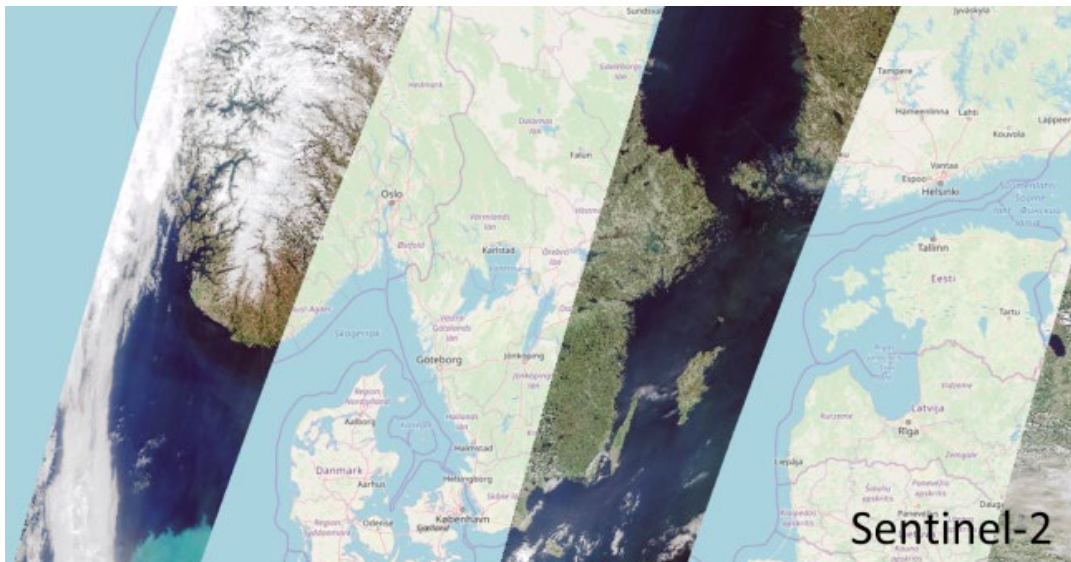
Figur 1. Inventerad sjögullsutbredning 2022 (gula linjer) och analyspunkter vid Kungsör. Bekämpningsramar är markerade med röd linje. Bakgrundsbild från GEO1-satellit, 2020-09-10 (ArcGIS World Imagery).

3. Satellitdata

EU:s jordobservationsprogram Copernicus är ett operationellt program med ett antal satellitburna sensorer för insamling av data för miljö- och klimattillämpningar. Copernicus tar steget från forskning och utveckling till rutindrift och ska under en lång tid framöver förse samhället med data. De olika satelliterna i programmet kallas Sentinel (1–6) och är utformade med fokus på olika tillämpningar. Varje Sentinel kan ha flera sensorer och ett antal av dem kan användas för akvatiska tillämpningar. För att säkra tillgången på data är målet att det hela tiden ska finnas minst två satelliter av samma typ i omloppsbana (till exempel Sentinel-2a och -2b). Alla data och vidareförädlade produkter som genereras inom ramen för Copernicusprogrammet är gratis, nedladdningsbara och relativt användarvänliga.

De största fördelarna med satellitbildstekniken är den stora geografiska täckningen och att de ofta passerar över Sveriges sjöar och kustområden. På många håll utvecklas nu datatillämpningar och informationstjänster, baserat på Copernicusprogrammet, som kan ge slutanvändare ett bättre informationsunderlag inom till exempel miljöövervakningen.

För uppdraget har data från Sentinel-2 MSI (MultiSpectral Instrument) använts, vilket motsvarar två likadana satelliter (S2a och S2b). S2a sköts upp år 2015 och S2b 2017. S2 satelliterna ger högupplösta multispektrala bilder (13 band med 10, 20 eller 60 meters upplösning) och används främst till landmiljöövervakning. Det har dock visat sig att kvaliteten på data är god och även användbara för många akvatiska tillämpningar. Återbesökstiden är ca 2–3 dagar och Sentinel-2 täcker ett 290 km brett område (Figur 2) som sedan delas upp i mindre bildsegment på 100x100 km.



Figur 2. Exempel på täckningsområde för en passage av Sentinel-2.

För studien har både så kallade Level-2A-data nedladdat från Copernicus Open Access Hub och data processerade via Brockmanns eget hård- och mjukvarusystem Calvalus använts. L2A motsvarar atmosfärskorrigerade ytrelektionsbilder (Surface Reflectance) i UTM/WGS84 kartprojektion. Det innebär att de är färdiga att användas för aktuell tillämpning, med förbehåll för att atmosfärskorrekturen inte är anpassad till vatten. För vattentillämpningar kan alternativa metoder behövas. Mer information om de olika typerna av produkter för Sentinel-2 finns på: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi>. För initiala klassningstester samt framställning av vegetationsindexet FAI (Floating Algae Index) har L1C data nedladdade till Brockmanns eget arkiv använts och vidarebehandlats. L1C motsvarar nivån under L2A och är kartriktiga men inte atmosfärskorrigerade. Klassningsmetoderna och indexframställningen beskrivs i kapitel 4 nedan.

För att titta på satellitdata finns en mängd olika verktyg/browsers att välja på. För studien användes i huvudsak Google Earth Pro och Tarkka+, Finlands miljöcentrals tjänst för tillhandahållande av satellitobservationer och produkter.

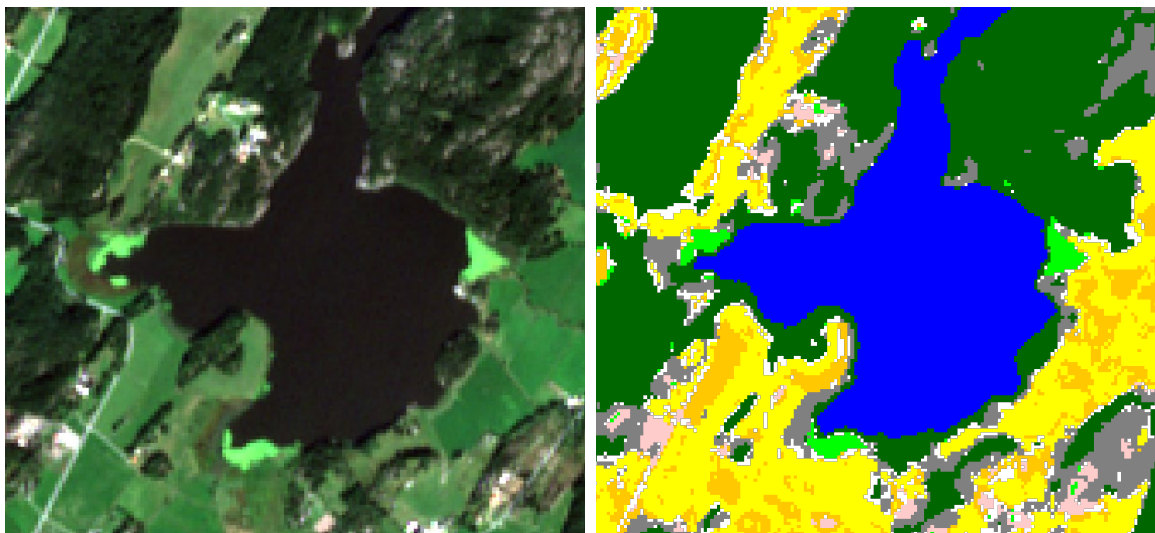
4. Metoder

För studien har vi undersökt sjögullsbeståndens spektrala egenskaper och använt dem för att klassificera bilderna. Vi har även beräknat ett vegetationsindex för att studera beståndens säsongs- och mellanårsvariation. De metoder som använts beskrivs översiktligt i kapitel 4.1-4.2 nedan.

4.1 Klassning

Random Forest (RF) är en så kallad styrd klassningsmetod (supervised classification) och har använts i projektet. Grunden till RF (Breiman, 2001 och Breiman et al., 2006) är så kallade beslutsträd, en metod som succesivt delar upp träningsdata i grupper och undergrupper, där varje undergrupp delar någon gemensam egenskap. I det här fallet handlar det om spektrala (färg) bildegenskaper. Vid varje uppdelning är målet att skapa grupper som är så olika varandra som möjligt och där pixlarna inom varje grupp är så lika varandra som möjligt. RF samlar slumpmässigt och iterativt data från ett träningsdataset för att generera en stor grupp, eller skog, av klassificerings- och regressionsträd. Klassificeringsutgången bygger sedan på resultatet av många beslutsträd, vilket innebär att man uppnår en mer robust modell än om man bara använder ett enda klassificeringsträd som produceras av en enda modellkörning. Resultatet från RF modellen representerar sedan medelvärde av alla regressionsträd som "odlats parallellt".

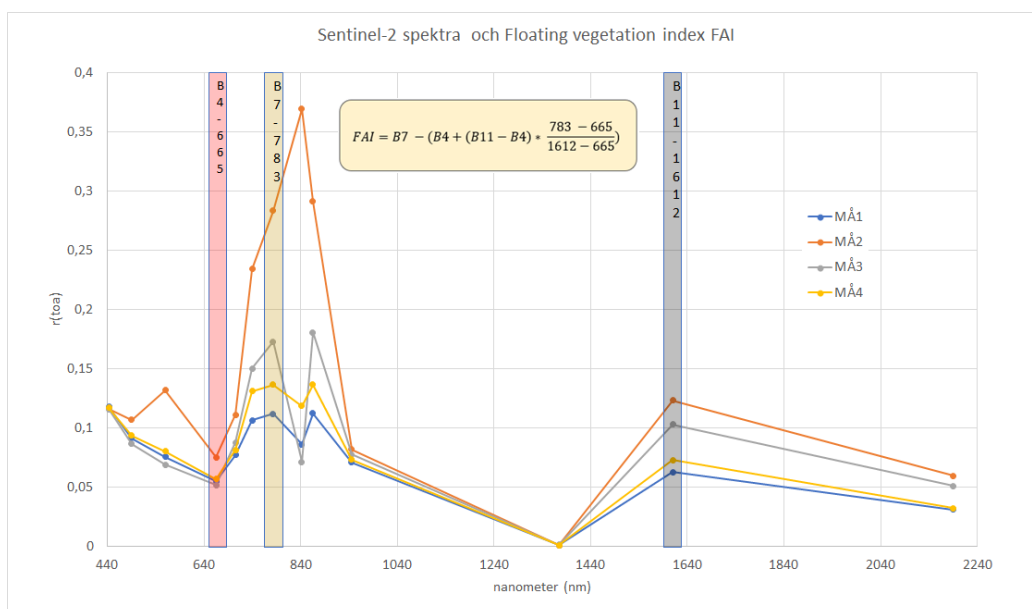
Se även [Random forest - Wikipedia](#). RF finns implementerad i SNAP (Sentinel Application Platform) som är en gratisprogramvara för bearbetning av Copernicusdata. För projektet har SNAP och egna Python-baserade rutiner använts för att applicera RF på Sentinel-2 data och ett klassningsexempel visas i Figur 3.



Figur 3. Sentinel-2 RGB bild (vänster) och motsvarande exempel på RF-klassad bild (höger) från 2022-08-30 över södra delen av Grindsbyvattnet. De ljusgröna ytorna i sjön motsvarar sjögullsbestånd.

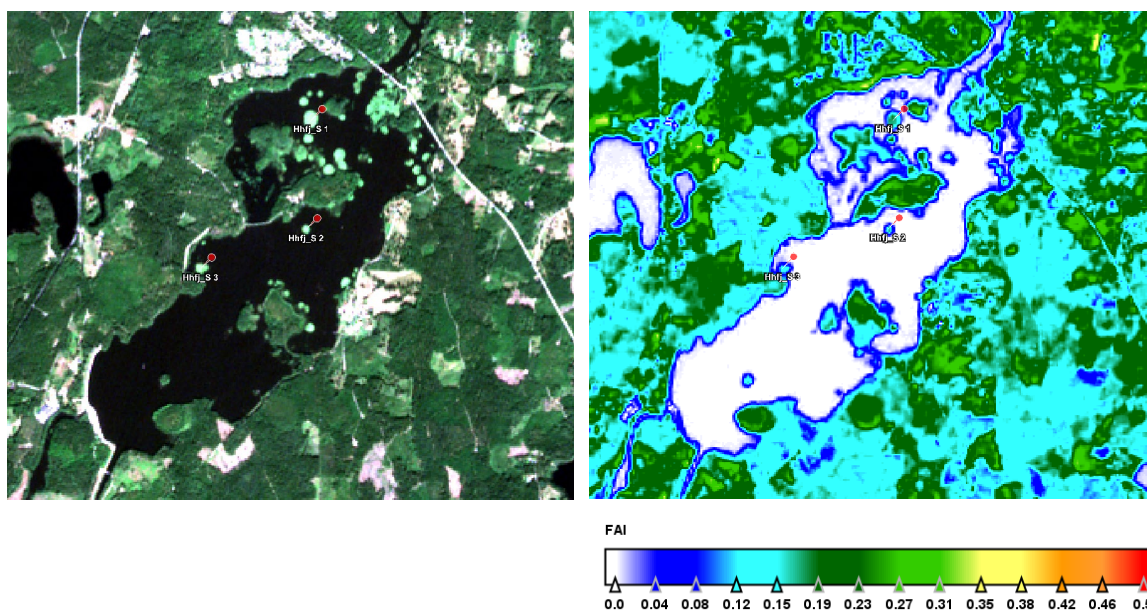
4.2 FAI

Floating Algae Index (FAI) är en metod (Hu, 2009) som har använts i projektet för att kartera och skilja på olika typer av flytande alger och annan ytvegetation, samt för att skatta variationen i vegetationens täthet. FAI definieras som skillnaden mellan reflektansen vid 783 nm och en linjär baslinje mellan det röda bandet (665 nm) och kortvågiga infraröda bandet (1610 nm). Ett exempel med fyra spektra från Märstaån visas i Figur 4. I andra utvärderingsstudier har FAI visat sig ha fördelar jämfört med traditionella vegetationsindex som till exempel NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) eller EVI (Enhanced Vegetation Index) eftersom FAI är mindre känsligt för förändringar i observationsförhållanden (atmosfärsegenskaper och solvinklar m.m.). Olika tröskelvärden ger sedan en uppdelning av typ och en indikation på tätheten för de olika typerna.



Figur 4. Sentinel-2 har 13 våglängdsband mellan 440-2200 nm. Figuren visar Sentinel-2-spektra från fyra olika punkter i dammen, Märstaån. Punkterna på linjerna representerar reflektansvärden i de olika våglängdsbanden. De band som ingår i FAI beräkningen är markerade med olika färger.

FAI beräknades för ett antal analyspunkter i varje studieområde från alla Sentinel-2 bilder mellan 2015–2022. Molniga delar av bilden maskas bort. Beräkningen resulterade i en tidsserie av FAI-värden för varje analyspunkt. Beräkningarna gjordes på Brockmanns hård- och mjukvarusystem Calvalus. I Figur 5 visas ett exempel på en Sentinel-2 färgbild (RGB) och motsvarande FAI-bild med de valda analyspunkterna i den södra delen av Hönshyltefjorden. Öppet vatten får indexvärdet "0" och ökar sedan med ökande vegetationssignal.



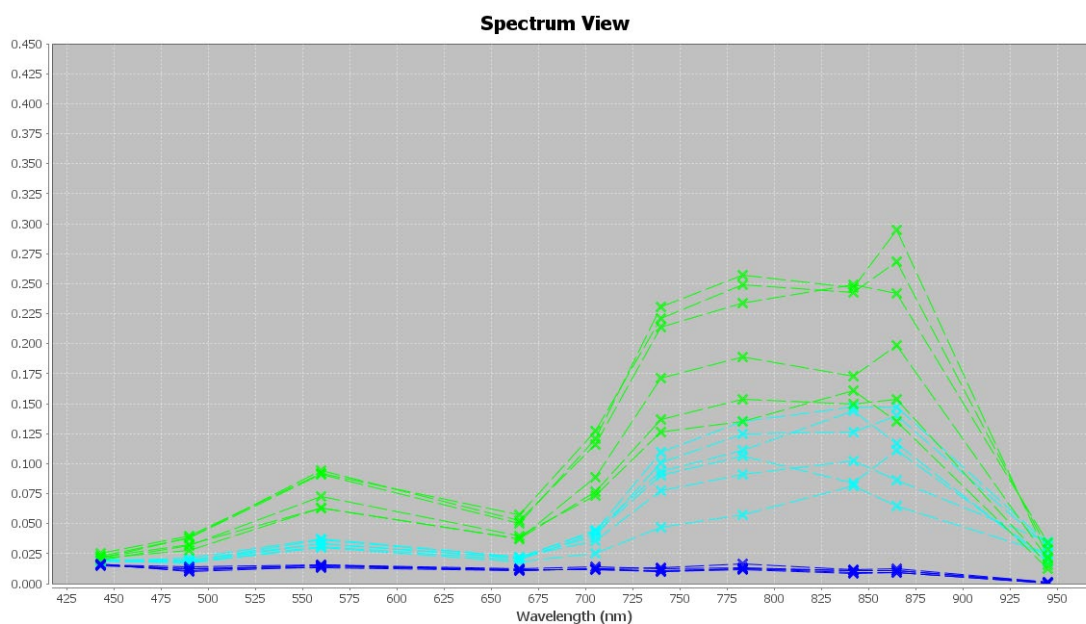
Figur 5. Sentinel-2 RGB bild (vänster) och motsvarande FAI-bild (höger) från 2022-08-24 över södra delen av Hönshyltefjorden.

5. Resultat

För studien har vi undersökt sjögullsbeståndens spektrala egenskaper och använt dem för att klassificera bilderna. Vi har även beräknat ett vegetationsindex för att studera beståndens säsongs- och mellanårsvariation. Resultatet av analysen presenteras och exemplifieras i kapitel 5.1-5.3 nedan.

5.1 Spektrala egenskaper

Täta sjögullsbestånd framträder ofta som rumsligt avgränsande och i färg avvikande områden i satellitbilder och ortofoton. De verkar även skilja sig från annan vattenvegetation som näckros- och vassbestånd, särskilt i juli-augusti (Figur 6). Därmed finns det stor potential för kartering och övervakning genom att använda Sentinel-2-bilder som har en bättre temporal upplösning än ortofoton och betydligt bättre täckning än fältinventering. Figur 6 innehåller ett antal så kallade reflektansspektra motsvarande vatten-, näckros- och sjögullspixlar i bilden från 2022-08-24 över Hönshyltefjorden.

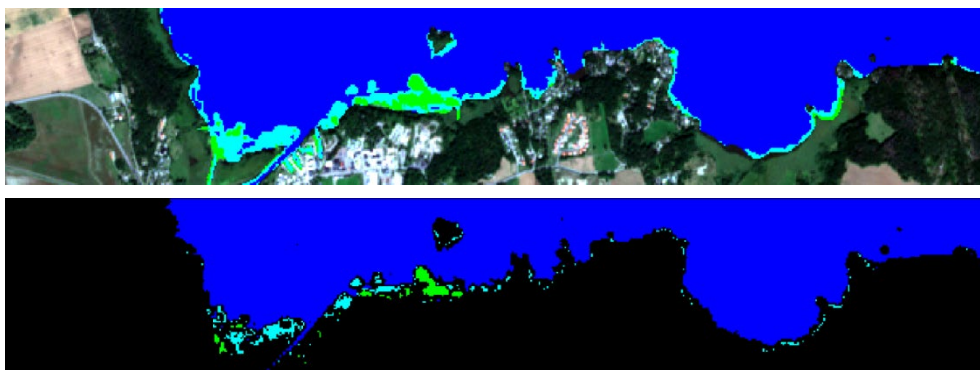


Figur 6. Sentinel-2 spektra (443–940 nm) motsvarande vatten (blå), näckros (cyan) och sjögull i Hönshyltefjorden 2022-08-24.

5.2 Klassificering

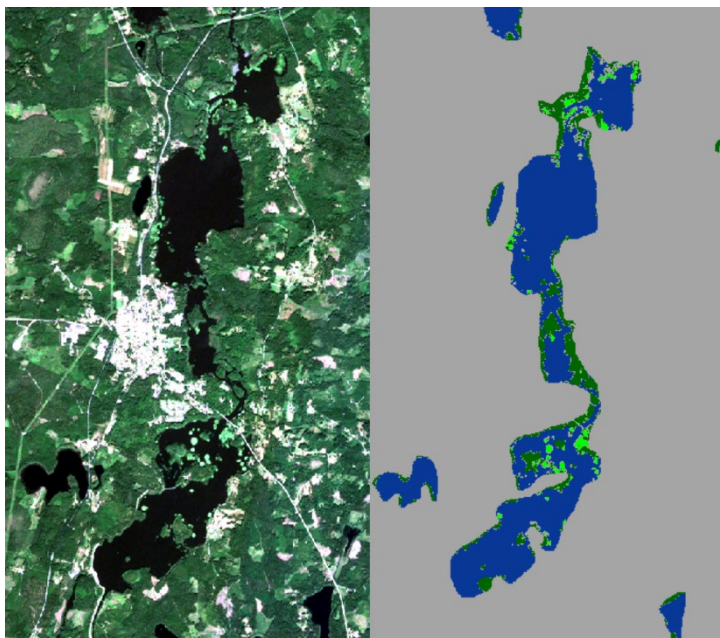
Sentinel-2 data över Kungsör (2022-08-14), Grindsbyvattnet (2022-08-30) och Hönshyltefjorden / Brändeborgsfjorden (2022-08-24) har klassificerats med Random Forest (RF) som till att börja med tränades med data från respektive bild. S2 har inte samma rumsliga upplösning i alla band, utan antingen 10, 20 eller 60 meter. RF implementeringen i SNAP kräver samma upplösning så inför klassningen gjordes alla band om till 10 m. Med den upplösningen blir originalbilden stor och klassningsprocessen långsam, så för testerna klassades bara den del av bilderna som motsvarade studieområdena. För Mälaren

klassades till exempel Galten med omgivning. Figur 7 (övre) visar resultatet av klassningen över Kungsör. Alla pixlar tilldelas en klass, men inte med samma säkerhet. Denna så kallade "konfidens" är tillsammans med själva klassningsresultatet en del av den skapade produkten. Den nedre delen av Figur 7 visar alla bildpixlar som tilldelats en klass med mer än 90% konfidens och man kan se att kända sjögullsbestånd identifieras och avgränsas tydligt.



Figur 7. Ett exempel från klassningen av S2 bilden (2022-08-14) över Kungsör (överst). Ljusgröna ytor motsvarar bildpixlar klassade som sjögull. I den nedre bilden visas bara de pixlar som klassats med hög säkerhet (konfidens > 90%).

Tittar man vidare på resultatet hittar man även klassade sjögullsbestånd i Brobyviken, Kvicksund och Lillön-Mellansundet. Figur 8 visar klassningsresultatet från Hönshyltefjorden/Brändeborgsfjorden och ljusgröna ytor motsvarar sjögull. Resultatet av detta första test är bra men inte helt tillfredsställande och ett par ljusa hårdgjorda ytor klassas till exempel felaktigt som sjögull. Genom att utöka och förfina träningsdatasetet, maska bort land och kontrollera konfidensnivån så bör resultatet kunna förbättras.



Figur 8. Ett exempel från klassningen av S2 bilden över Hönshyltefjorden/Brändeborgsfjorden (2022-08-24). Ljusgröna ytor motsvarar bildpixlar klassade som sjögull.

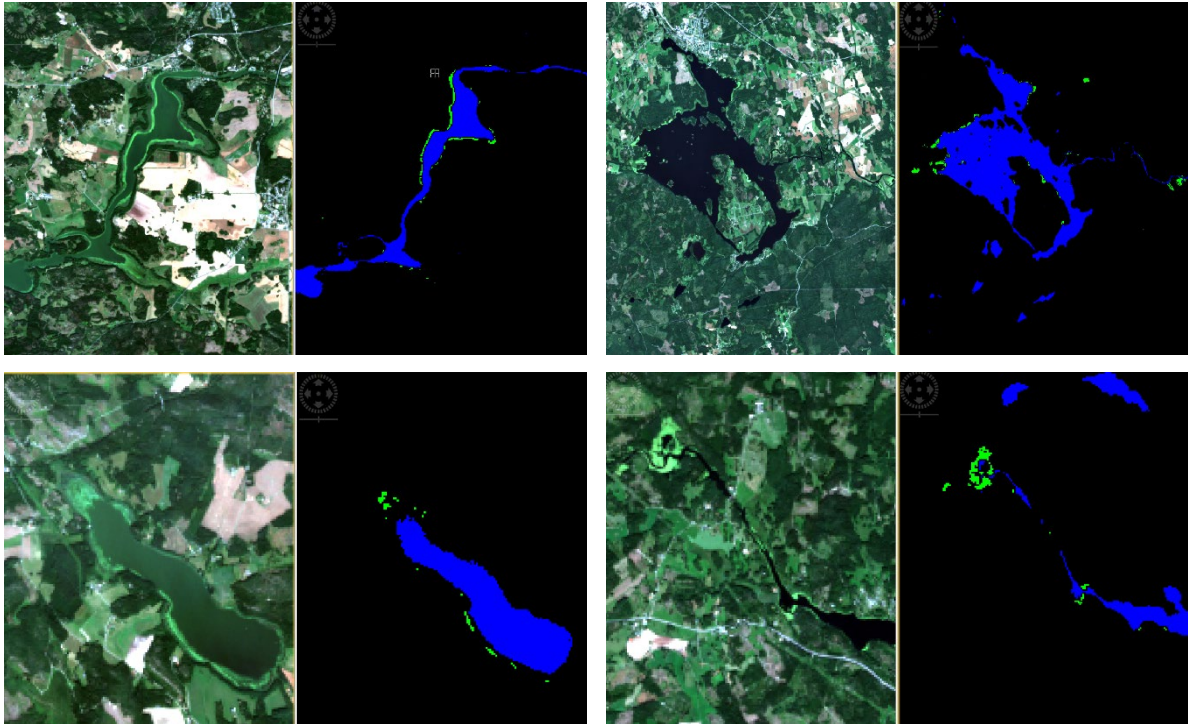
För att testa möjligheten att tillämpa metoden på större områden och att använda de spektrala egenskaperna identifierade i ett område på ett annat tränades RF modellen med data från Grindsbyvattnet och tillämpades sedan på hela den S2 bilden (2022-08-30) och även på bilden som täcker västra Mälaren, Hjälmaren och ner till Bråviken i Östergötland (2022-08-14). Försöket baserades på Level-2A-data nedladdat från Copernicus Open Access Hub och nyttjade egna Python-baserade rutiner för RF-klassning. För att minska bearbetningstiden gjordes alla band om till 20 m, men går att genomföra även på 10 m upplösning. Bildernas hela täckning visas i Figur 9.



Figur 9. Sentinel-2 L2A bilderna innehållande studieområdena Grindsbyvattnet, Orust, och Kungsör, Mälaren.

För västkustbilden identifierades sjögullsbestånden i Grindsbyvattnet, men inga andra bestånd utöver det. Dock finns det ett sjö med sjögull inte så långt från Grindsbyvattnet men sannolikt var den för liten för den testklassning som genomfördes på 20 meters upplösning.

I den andra bilden identifierades bestånden i Kungsör, Brobyviken, Kvicksund, Lillön – Mellansundet och Sörfjärden i Mälaren, men även ett antal andra områden. Figur 10 på nästa sida visar fyra områden från olika delar av bilden där bildpixlar identifierats som sjögull. Varingen med flera var kända av Länsstyrelsen, men ett par var inte det och ska kontrolleras.

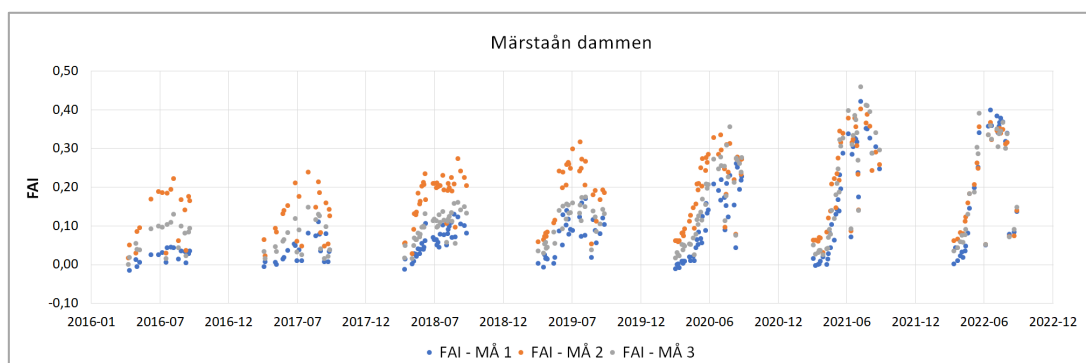


Figur 10. Identifierade potentiella sjögullsbestånd i Närsjöfjärden, Väringen, Bålsjön och Bönnern.

5.3 FAI

Analyspunkter i de olika sjöarna valdes ut med hjälp av fältinventeringarna, deltagarnas lokalkunskap och visuell inspektion av tillgängliga Sentinel-2 bilder, World Imagery i ArcMap och Google Earth Pro. Punkterna valdes för att representera olika typer av objekt, till exempel vatten, ramar, näckros och sjögull samt olika täthet hos bestånden. FAI-värden motsvarande positionen för alla definierade analyspunkter beräknades och extraherades sedan från Brockmanns arkiv av Sentinel-2 data. Processen resulterade i en tidsserie av FAI-värden för varje analyspunkt.

Figur 11 visar tidserierna för tre av analyspunkterna i dammen, Märstaån, och man kan se att FAI-värdena ökar över tid vilket indikerar att förekomsterna förtätas. Det mönstret är vanligt i flera av områdena med obekämpade förekomster av sjögull.



Figur 11. FAI-värden för tre analyspunkter i dammen, Märstaån, som visar klassiska tillväxt- och nedgångskurvor över vegetationsperioden och generellt ökande värden mellan 2016–2022.

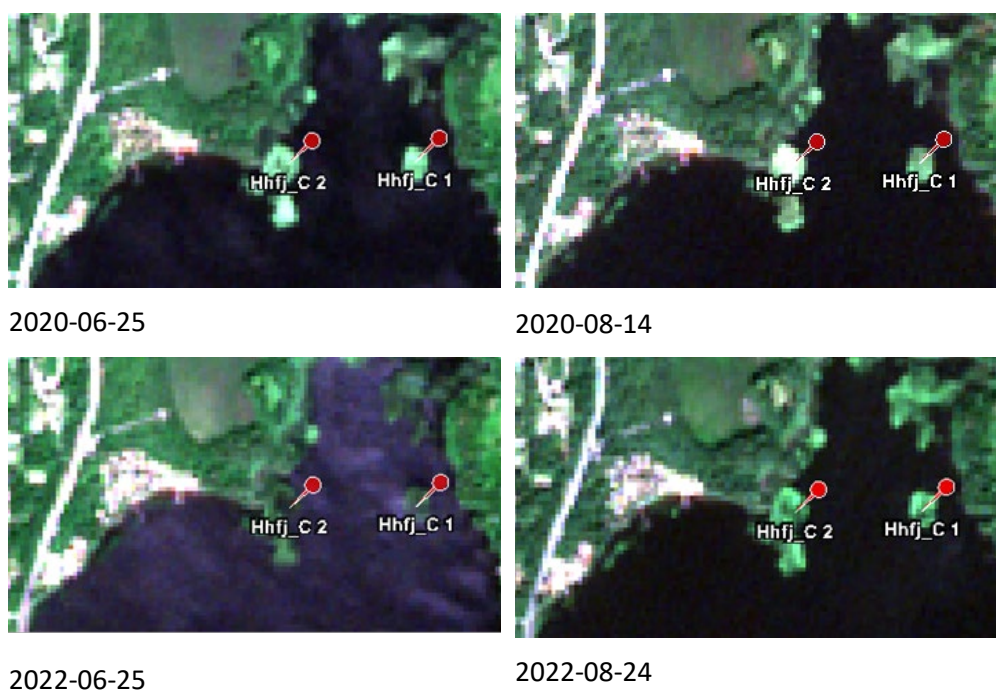
Figur 11 visar typiska FAI-trender över vegetationssäsongen och som motsvarar tillväxt och tillbakagång, med snabbt ökande värden under våren, de högsta värdena i mitten-slutet av augusti och sedan snabb minskning i september. De orange punkterna motsvarar ett område med tät sjögull, de grå punkter är gles sjögull och de blå punkterna öppet vatten till 2016. Över åren ökar FAI-värdena allteftersom sjögullsbestånden tättnar för att 2020 visa liknande värden för alla tre analyspunkterna. Satellitbilder från 2022 över dammen bekräftar att hela vattenytan då är mer eller mindre täckt av sjögull (Figur 12).



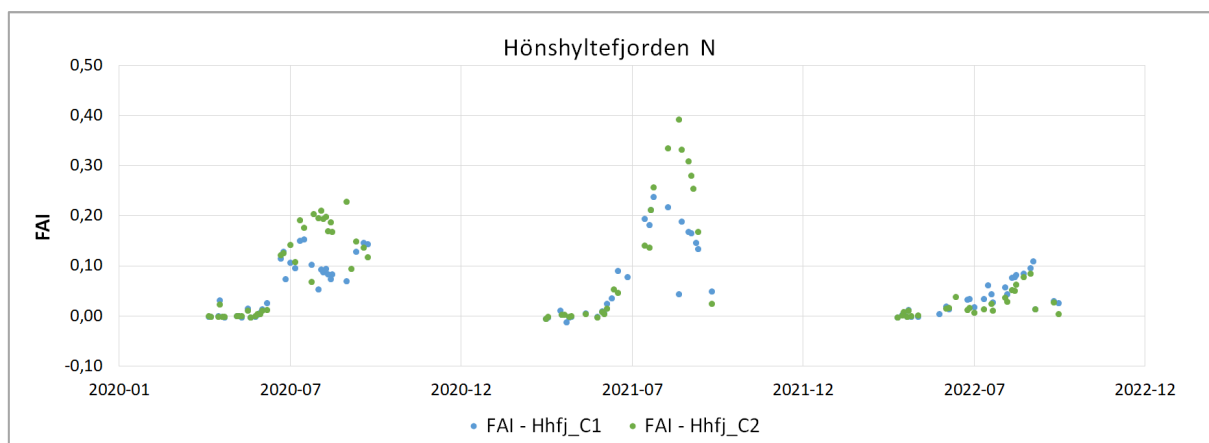
Figur 12 Sentinel-2-bilden från augusti 2022 visar tydlig att hela dammen, Märstaån, är täckt av sjögull.

Baserat på FAI finns det alltså möjlighet att studera förändringen i täthet över tid och satellitbildernas höga temporala upplösning innebär att man detaljerat kan följa beståndsutvecklingen under säsongen. I Hönshyltefjorden, Kronobergs län, finns två sjögullsbestånd som verkar skilja sig i täthet mellan 2020 och

2022 och där tätheten ser ut att ha minskat till 2022. I Figur 13 syns skillnaderna mellan åren i form av mörkare partier i mitten (glesare bestånd) i augusti 2022 än vad man kan se i de andra bilderna från 2020 och 2022. Även juni-bilderna visar på skillnader i beståndsutveckling mellan åren. De här fluktuationerna i sjögullsbestånden syns också i tidserierna av FAI-värden (Figur 14).



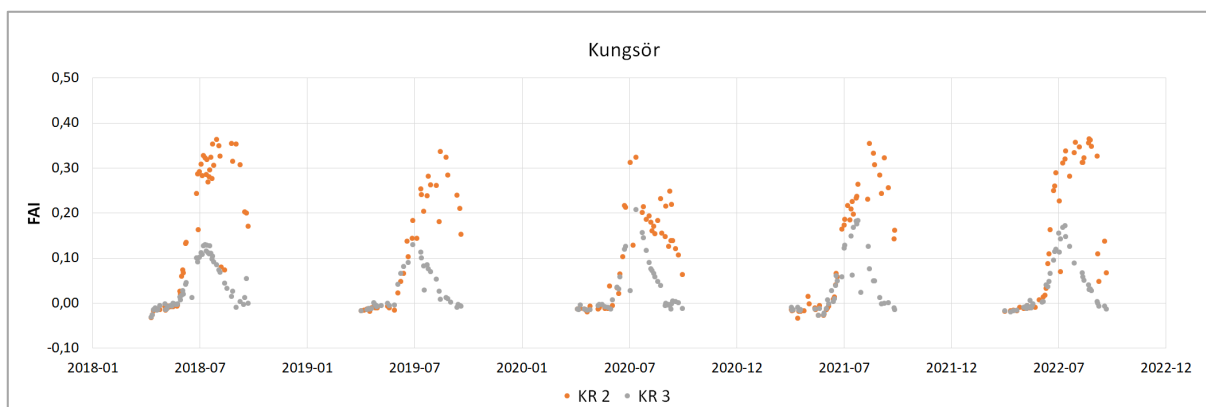
Figur 13. Sentinel-2 bilder från 2020 (övre) och 2022 (nedre) över Hönslytefjordens norra del med två av analyspunkterna som visar skillnader mellan åren i form av mörkare partier i mitten (glesare) i augusti 2022 och olika beståndsutveckling i juni (vänstra).



Figur 14. FAI-värden för 2020–2022 som indikerar variation i täthet över åren för två analyspunkterna i norra Hönslytefjorden, Kronobergs län.

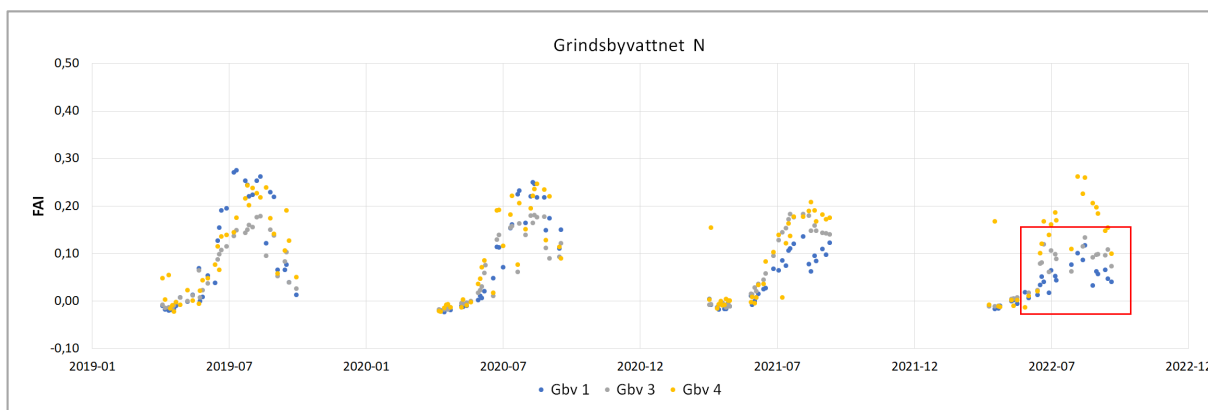
Skillnaden mellan sjögull och annan vattenvegetation kan i vissa fall påvisas med FAI-trenden och analyspunkter placerades i kända näckrosbestånd både vid Kungsör och i Grindsbyvattnet.

Figur 15 innehåller analyspunkter från Kungsör och man kan för analyspunkten Kr 3 (grå), som är näckros, se en annorlunda och tydlig trend med lägre värden och tidigare nedgång efter mitten på juli.



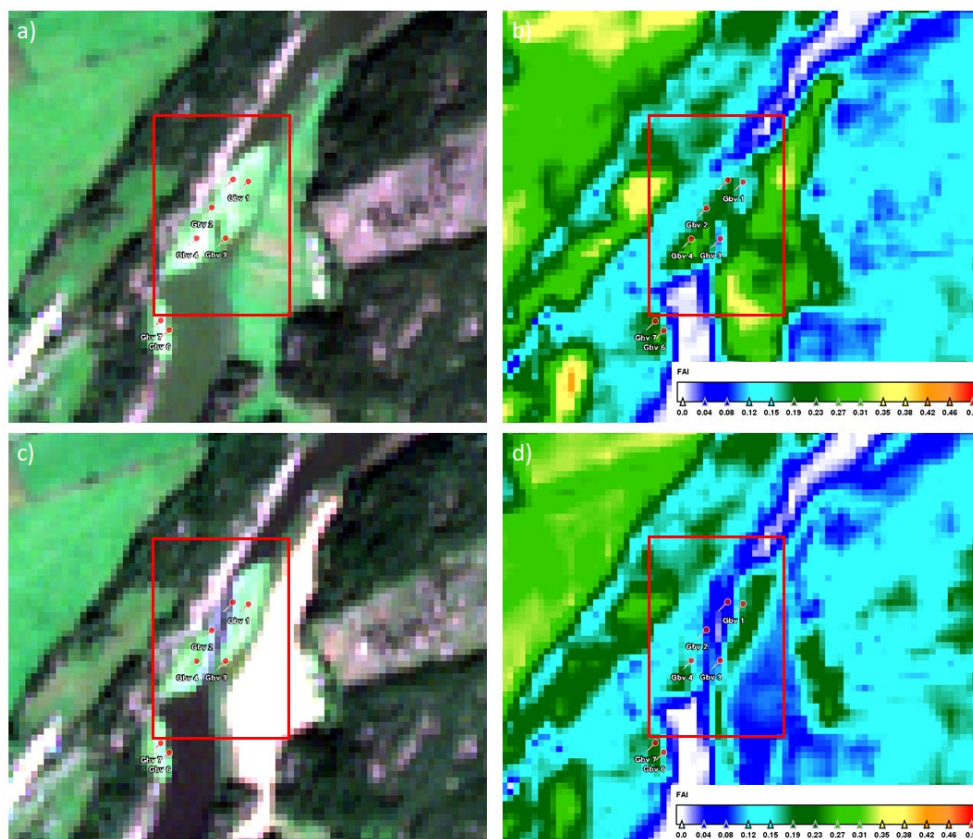
Figur 15. FAI-värden för två analyspunkter i Kungsörsviken. Kr 3 – grå, är från ett näckrosbestånd. KR 2 – orange är tät sjögull.

Figur 16 visar en tidserie med FAI-värden för bestånd med tät sjögull och näckros i den norra delen av Grindsbyvattnet. En skillnad i FAI-värden mellan näckros och sjögull kan ses över åren samt effekt av utlagd ram 2022 (röd box). Gbv1 i blått och Gbv 4 i gult är täta sjögullsbestånd medan Gbv 3 – grå är näckros, som generellt över åren har lägre FAI-värden <0,20 men det är dock ett begränsat område med bara näckros och en viss inblandning av sjögull kan inte uteslutas. Den röda boxen för 2022, med lägre värden för Gbv1, kan indikera effekten av utlagd bekämpningsram.



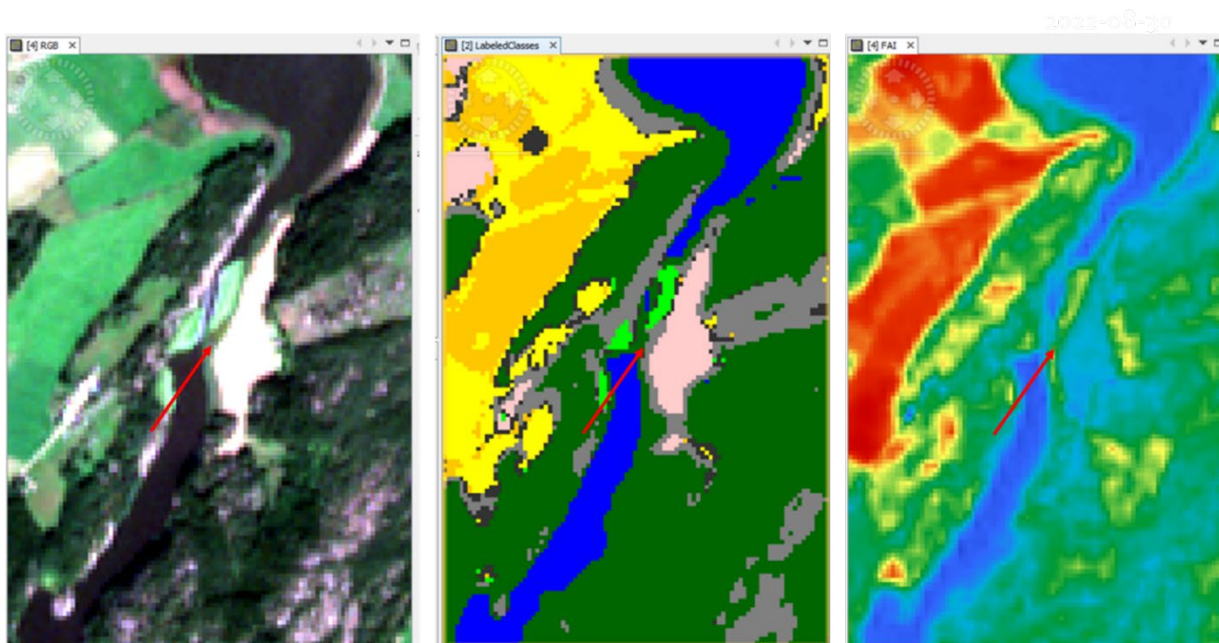
Figur 16 Grindsbyvattnet norra delen - Tidserier med FAI-värden för två täta sjögullsbestånd Gbv1 (blå) och Gbv 4 (gul) och för näckros Gbv 3 (grå). Den röda boxen visar på lägre värden 2022 för Gbv1 som en effekt av bekämpningsramar.

Kartbilder för FAI skapades för två olika tidpunkter på säsongen (juni och augusti) och för två år, 2020 och 2022, för de olika testområdena. Figur 17 visar exempel på Sentinel-2 bilder (a – 2020, c – 2022) med motsvarande FAI-bilder (b – 2020, d – 2022) för den norra delen av Grindsbyvattnet. I de nedre bilderna från 2022 syns också effekten av bekämpningsramarna i farleden i form av sänkta-mörkblå FAI-värden (se röd box).



Figur 17 Sentinel-2 över Grindsbyvattnet, från augusti 2020 (a) och 2022 (c) med respektive FAI-bild (b) och (d). I de nedre bilderna kan man se effekt av rambekämpning i farleden (röd box).

Tre sjögullsbestånd har i Figur 18 identifierats väl i samband med klassningen (ljusgrön) medan näckrosbeståndet inte kommer med (röd pil). Detta förhållande är inte lika tydligt i FAI bilden.



Figur 18. Sentinel-2 färgbild (vänster), klassning (mitten) och FAI-bild (höger) över Grindsbyvattnet N, 2022-08-30. Den röda pilen markerar ett näckrosbestånd.

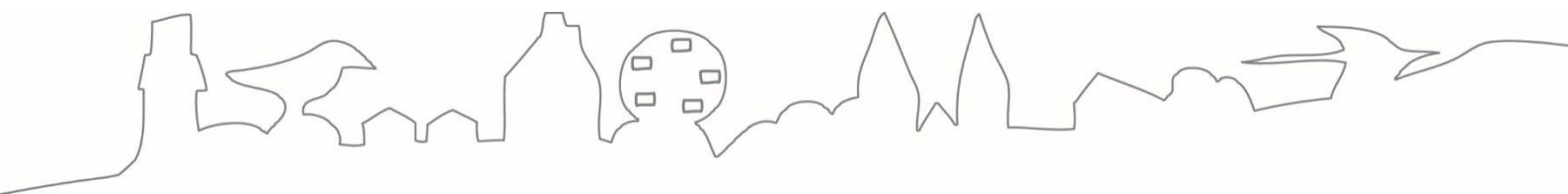
6. Slutsatser

Den huvudsakliga slutsatsen är att det finns stor potential för kartering och övervakning av sjögull genom att använda Sentinel-2-bilder som har en bättre temporal upplösning än ortofoton och betydligt bättre täckning än fältinventering. Övriga slutsatser:

- De spektrala egenskaperna hos sjögull gör bestånden möjliga att identifiera i Sentinel-2-bilder samt att följa beståndets status och trend över tid.
- Egenskaperna verkar överförbara från en bild/region till en annan, vilket innebär att träningsdata från en bild kan tillämpas på en annan.
- Klassningen kan baseras på L2A-data från Copernicus Open Access Hub.
- FAI kan användas till att studera fluktuationer i utbredningen och täthet i sjögullsbestånden över åren, att följa utvecklingen under vegetationssäsongen och att följa upp effekten av bekämpning med ramar.
- FAI kan möjligen även användas för att skilja sjögull från annan flytbladsvegetation baserat på täthet och fenologisk utveckling.

7. Referenser

- Breiman, L. 2001. Random forests. *Machine Learning* 45: 5-32.
- Breiman, L., Cutler, A., Liaw, A. and Wiener, M. 2006. Breiman and Cutler's Random forests for classification and regression. CRAN Project.
- Hu, C., 2009, A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans, *Remote Sensing of Environment*, 113:10.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.05.012>
- Kolodyazhnaya, D. (2021). Inventering och rensning av sjögull i Märstaån. WSP projektrapport för Sigtuna kommun.
- Norling, M. (2011). Märstaån – ett vattenlandskap, Är våtmarker och dammar vägen framåt? Kandidatuppsats, Geografi C, Södertörns högskola, Institutionen för Livsvetenskaper.
- Schyberg, C. (2014). Bekämpning av sjögull i Mälaren. Redovisning av LONA projekt, Kungsörs kommun.
- Smålander, A. & Olsson, P. (2020). Bekämpning av sjögull (*Nymphoides peltata*) inom Mörrumsåns avrinningsområde i Kronobergs län. Länsstyrelsen i Kronobergs län.
- Kyrkander, T. & Örnborg, J., (2018). Makrofyter i Brändeborgsfjorden & Kallsjön 2018, Rapport ÖK 2018:12, Örnborg Kyrkander Biologi & Miljö AB för Alvesta kommun.



Länsstyrelsen
Västra Götaland