



Marin fjärranalys

Övervakning av vegetationsutbredning
med satelliter och drönare



Länsstyrelsen
Västerbotten

I samarbete med



GÖTEBORGS
UNIVERSITET



Länsstyrelsen
Gävleborg



Länsstyrelsen
Kalmar län

**Havs
och Vatten
myndigheten**

Titel: Marin Fjärranalys – Övervakning av vegetationsutbredning med satelliter och drönare

Utgiven av: Länsstyrelsen Västerbotten 2023

Författare: Johnny Berglund, Anna Thomasdotter, Carlos Paz von Friesen, Marianne Åkerholm, Anniina Saarinen, Peter Nordling, Emil Kraft, Magnus Danbolt, Anna Wall, Eduardo Infantes, Mats Envall, Henrik Möller, Matilda

Rasmussen, Per-Olav Moksnes

Bild omslag: Satellitbild från Sentinel-2, Copernicus

Adress: Länsstyrelsen Västerbotten, 901 86 Umeå

Telefon: 010-225 40 00

E-post: vasterbotten@lansstyrelsen.se

Hemsida: www.lansstyrelsen.se/vasterbotten

Diarienummer: 8767-2021

Förord

Länsstyrelsen Västerbotten har under 2020-2022 haft i uppdrag av Havs och vattenmyndigheten att koordinera utvecklingen av nyttjandet av drönar- och satellitdata för övervakning av areell utbredning av vegetation och bedömning av tillstånd i grunda marina områden. Uppdraget har utförts i nära samarbete med Göteborgs universitet och flertalet andra länsstyrelser. Totalt 11 län har samverkat i uppdraget i olika omfattning. Åtta av länen (länsstyrelserna i Norrbotten, Västernorrland, Gävleborg, Uppsala, Södermanland, Kalmar, Blekinge och Västra Götaland) har bidragit med egen fältinsamling av drönarbilder och biologiska referensdata. Insamlingen har finansierats endera med medel från Länsstyrelsen Västerbotten eller med finansiering direkt från HaV. Tre av länen har medverkat aktivt i diskussioner eller vid kurstillfällen om metodik och utrustning (länsstyrelserna i Stockholm, Östergötland och Gotland). På västkusten har Göteborgs universitet därtill haft ett aktivt utbyte med personal från Länsstyrelsen i Västra Götaland. SLU Artdatabanken har medverkat i arbetet genom att samla befintlig kunskap om olika påverkansfaktors inverkan på areell utbredning av vegetation. All samverkan med diverse utförare har på olika sätt bidragit till att förbättra metoderna och även att tydliggöra dess begränsningar.

Förutom samverkan med myndigheter så har ett flertal företag varit inblandade i uppdraget. Konsultföretagen WSP och Medins har hjälpt till med att samla vegetationsdata från Gotland. Konsulter från DHI och särskilt gruppen EOatDHI har lagt en god grund för fortsatt nyttjande av satellitbilsdata genom att bygga en plattform för analys. RISE som tillhandahållare av fysisk plats för Rymddatalabbet och plattformen för satellitbilsanalys har varit oumbärliga för uppdraget. Även konsulter från Metria och Sogeti har haft uppdrag att utreda och behandla data från satelliter. Sokigo har tagit fram förslag till lagring av drönarbilder och kommunikationsbyrån Henson har genomfört en målgruppsundersökning och hjälpt till med viss layout.

Denna rapport behandlar inte fullt ut alla de delarbeten som utförts inom uppdraget. Diverse mindre rapporter och redovisningar finns tillgängliga hos Länsstyrelsen Västerbotten, diarienummer 6652-19, 3071-2020 och 8767-2021.

Ett antal personer har medverkat under större delen av uppdragets genomförande vid insamling av data och vid analys av drönar- eller satellitbilder. Det är Marianne Åkerholm och Anniina Saarinen vid Länsstyrelsen Västerbotten, Peter Nordling och Emil Kraft vid Länsstyrelsen Gävleborg, Magnus Danbolt och Anna Wall vid Länsstyrelsen i Kalmar län och Eduardo Infantes, Mats Envall, Henrik Möller och Matilda Rasmussen vid Göteborgs universitet. Ett stort tack till dem och till projektledningen; Johnny Berglund, Anna Thomasdotter och Carlos Paz von Friesen vid Länsstyrelsen Västerbotten och Per-Olav Moksnes vid Göteborgs universitet.

Till sist ett stort tack till Havs- och vattenmyndigheten för förtroendet.

Björn Jonsson
Enhetschef
Länsstyrelsen Västerbotten

Innehåll

Förord	3		
Sammanfattning	5		
Summary in English	6		
1. Introduktion	7		
1.1. Bakgrund	7		
1.1.1. Varför ska vi övervaka areell utbredning av marina biotoper?	7		
1.1.2. Tillgängliga metoder – styrkor och svagheter	7		
1.2. Uppdrag och mål med arbetet	9		
2. Genomförande och resultat	10		
2.1. Utveckling av drönarmetoder för övervakning	10		
2.1.1. Metodöversikt	10		
2.1.2. Utförande av vegetationskartering	11		
2.1.3. Utvärdering av noggrannhet och precision	15		
2.1.4. Kompletterande metoder med sonar	23		
2.1.5. Utveckling av teknik och metod samt manualer	25		
2.1.6. Spridning av kunskap till miljöförvaltare	26		
2.2. Utveckling av satellitmetoder för övervakning	28		
2.2.1. Metodöversikt	28		
2.2.2. Arbetsprocess för satellitbilsanalys	28		
2.2.3. Utförande och resultat	29		
2.2.4. Utvärdering av noggrannhet och precision	33		
		2.3. Förbättringsmöjligheter	37
		2.3.1. Drönare	37
		2.3.2. Satellit	37
		3. Utveckling av övervakningsprogram	40
		3.1. Kombinerad övervakning för flera behov	40
		3.2. Förslag till nationellt övervakningsprogram	40
		3.3. Förslag på metod för statusklassning av grunda marina områden enligt art- och habitatdirektivet	42
		3.4. Lagring av data och utmaningar med sekretess	48
		4. Referenser	49
		5. Bilagor	50

Sammanfattning

Kunskap om värdefulla livsmiljöers areella utbredning och deras förändring över tid utgör grunden för att bedöma ett områdes naturvärden och tillstånd för den biologiska mångfalden, liksom för att kunna förvalta och följa upp våra marina ekosystem på ett effektivt sätt. Övervakning av livsmiljöers utbredning borde därför utgöra en central del av den marina miljöövervakningen, men saknas i Sverige idag. Denna rapport redovisar ett flerårigt arbete med syfte att utvärdera och förbättra en metod - *marin fjärranalys* - för övervakning av vegetationsklädda grunda bottenar med hjälp av flygande drönare och satelliter. Huvudmålsättning med arbetet har varit att till år 2023 skapa förutsättningar för en uppstart av ett nationellt satellit- och drönarbaserat övervakningsprogram av undervattensvegetationens areella utbredning och tillstånd i grunda marina områden.

Den kombinerade metoden testades inom samtliga tre havsområden: Västerhavet, Egentliga Östersjön, och Bottniska viken. För att utvärdera och utveckla drönarmetoden har över 250 olika lokaler från Kosteröarna i Västerhavet till Råneå i nordligaste Botten viken provtagits under perioden 2020–2022 med flygande drönare och dropvideo. Fältarbetet har utförts i ett nära samarbete mellan Länsstyrelsen Västerbotten och Göteborgs universitet, och med stöd från närapå samtliga kustlänsstyrelser. Drönarmetoden visade mycket god noggrannhet i alla undersökta havsområden (i medeltal 77–85%), även på platser med sämre vattenkvalitet. Den höga upplösningen i bilderna (3–6 cm) och RTK-GPS-teknik ger mycket hög precision och möjlighet att kartlägga även fragmenterad eller blandad vegetation, samt att detektera mycket små förändringar på tiotals kvadratmeter. Drönarmetoden är dock begränsad till relativt små lokaler (<100 ha) och är arbetskrävande, varför den är mindre lämpad för storskalig, rikstäckande övervakning.

För att utveckla metoderna och sprida kunskapen med fjärranalysmetoderna har manualer, tekniska lathundar och protokoll tagits fram för alla delar av drönarmetoden, inklusive fotografering med drönare, insamling av fältreferensdata, bearbetning av foton och klassning av bottenarter. Vidare har regelbundna workshops, fältövningsdagar och kalibreringsövningar genomförts med deltagare från de olika kustlänen.

Genom analys av Sentinel-2 satellitbilder från Copernicus programmet har en nationellt täckande klassning av Sveriges grunda kustzon tagits fram ner till satellitsynligt djup. Klassningen som täcker drygt 3800 km² innehåller habitatklasserna vegetationsklädd botten, mjuk botten utan vegetation och hård botten. Vidare har en webbaserad plattform, SAV Sweden, tagits fram där användare kan utföra egna satellitbildsanalyser av vegetation. Utvärdering av satellitmetoden visar relativt hög noggrannhet i undersökta havsområden (58–92%), men identifierar också några begränsningar där metoden exkluderar djupare delar av vegetation från analysen, samt att den har svårighet att separera olika typer av vegetation, vilket sätter begränsningar för möjligheten att detektera förändringar av värdefulla undervattensängar. Preliminära analyser tyder dock på ökade möjligheter att separera olika vegetationstyper genom att samanalysera ett större antal satellitbilder.

Resultaten visar att satellit- och drönar metoder har olika styrkor och svagheter, men att de kompletterar varandra mycket väl. Genom att kombinera metoderna fås både drönarmetodens förmåga att detektera små förändringar i utbredning med hög noggrannhet, samt satellitmetodens fördelar att generera rikstäckande vegetationskartläggningar på ett effektivt sätt. Rapporten avslutas med ett förslag på hur ett nationellt satellit- och drönarbaserat övervakningsprogram av undervattensvegetationens areella utbredning kunde utformas på ett effektivt sätt, samt hur underlagen kan användas för klassning och uppföljning av bevarandestatus för grunda naturtyper enligt art- och habitatdirektivet. På ett liknande sätt kan underlagen även bidra till statusbedömning av grunda livsmiljöer enligt havsmiljödirektivet, eller som biologisk kvalitetsfaktor för bedömning av ekologisk status enligt ramdirektivet för vatten. Ett övervakningsprogram av vegetationsutbredning har också potential att mäta och följa upp mål om förbättringar för den förväntade förordningen om restaurering av natur (Klimat- och näringslivsdepartementet, M2022/01470).

Summary in English

The spatial distribution of specific habitats, as well as their change over time, is crucial in estimating the ecological value and status of our natural areas, which then guides management and conservation efforts. Documenting the spatial distribution of valuable habitats should therefore constitute a central part of marine environmental monitoring but has yet to be implemented in Sweden. This report summarizes a project spanning several years with the aim of developing and evaluating remote sensing as a method to monitor submerged aquatic vegetation (SAV) using aerial imagery from drones and satellites. The main objective has been to enable the start of a national monitoring program of SAV distribution in shallow marine areas using remote sensing by 2023.

The resulting combined methodology consists of both drone and satellite methods and was tested in three main regions: Skagerrak and Kattegatt, the Baltic Sea, and the Gulf of Bothnia. To develop and evaluate the drone method, over 250 sites were surveyed between 2020 and 2022 using drones and dropvideo - from the Koster Islands on the west coast to Råneå in the northernmost Gulf of Bothnia. The fieldwork was led by the County Administrative Board in Västerbotten and the University of Gothenburg, in close collaboration with several other coastal county administrative boards. The drone method resulted in very high accuracy in the mapping of SAV in all three regions (on average 77–85%), also in regions with relatively poor water quality. The high resolution of the images (3–6 cm) and RTK-GPS technology provide very high precision, enabling mapping of fragmented or mixed vegetation habitats, and allowing the detection of very small-scale distribution changes (10s of square meters). However, the drone method is labor-intensive and limited to relatively small survey areas (<100 ha), making it less suitable for large-scale, nationwide monitoring.

To develop the methods and spread the knowledge of the remote sensing methods, manuals, technical notes, and protocols have been developed for all parts of the drone method. This includes drone photography, collection of field reference data, processing of photos, and classification of bottom types (mainly in Swedish). Technical notes were also created for the satellite method. Furthermore,

regular workshops, field practice days and intercalibration exercises have been carried out with participants from the various coastal counties.

The satellite method makes use of Sentinel-2 satellite images from the Copernicus program in a custom web-based platform called *SAV Sweden*. As part of method development and evaluation, a national classification of Sweden's shallow coastal zone was created using the platform. The classification covers approximately 3800 km² and classified unvegetated hard bottom, unvegetated soft bottom, and SAV. The accuracy for the satellite method was relatively high in the three regions (58–92%). While highly cost-effective and unmatched in terms of spatial scale, several limitations were identified in preliminary analyses of results. For example, some parts of the vegetation habitats are located at depths outside the range of satellite analyses. It can further be difficult to separate different kinds of vegetation types, which limits the ability to detect changes in valuable underwater meadows. However, a new method analyzing several satellite images of the same area show promising results in terms of separating different vegetation types.

While satellite and drone methods have different strengths and weaknesses, they complement each other well. A combined methodology profits from the drone method's high resolution and precision, as well as the satellite method's cost-efficiency and large spatial scale. The report concludes with a proposal for the design of national satellite and drone-based monitoring program of SAV distribution. In addition, suggestions are made for how the resulting data can be used to classify and monitor the conservation status of habitat types according to the Habitats Directive. Similarly, the data can contribute to the status assessment of shallow habitats according to the Marine Strategy Framework Directive (MSFD), or as a biological quality factor for the assessment of ecological status according to the Water Framework Directive (WFD). A monitoring program for SAV distribution also has the potential to measure and track improvement targets for the anticipated Nature Restoration Law (Swedish Ministry of Climate and Enterprise, M2022/01470).

1. Introduktion

1.1. Bakgrund

1.1.1. Varför ska vi övervaka areell utbredning av marina biotoper?

De flesta bottenlevande marina organismer är beroende av speciella livsmiljöer och habitat för åtminstone någon period i sin livscykel, till exempel för reproduktion, födosök eller som uppväxtområde för unga stadier. Att veta hur mycket som finns av dessa livsmiljöer och var de hittas är helt avgörande för en effektiv förvaltning av marina livsmiljöer och dess biologiska mångfald. Den areella utbredningen av värdefulla livsmiljöer som exempelvis undervattensvegetation korrelerar ofta direkt med den biologiska mångfalden lokalt, samt med ekosystems funktion och tillhandahållande av viktiga ekosystemtjänster. Dessa inkluderar bland annat produktion av fisk, stabilisering av botten och upptag av kol och näringsämnen. Fördelningen av livsmiljöerna längs ett kustområde har också stor betydelse för växter och djurs konnektivitet och populationsdynamik, och är därmed avgörande kunskap för arbete med till exempel områdesskydd och grön infrastruktur. Sammanfattningsvis utgör kunskap om värdefulla livsmiljöers areella utbredning och deras förändring över tid grunden för att bedöma naturvärden i ett område och status på den biologiska mångfalden, liksom för att kunna förvalta och följa upp marina ekosystem på ett effektivt sätt. Den areella utbredningen av kustnära vegetation svarar också på stress från flera olika typer av mänsklig påverkan som till exempel klimatförändringar, övergödning, båttrafik, samt olika former av fysisk påverkan (övertäckning, skuggning, uppgrumling, med mera) varför övervakning av livsmiljöernas utbredning borde utgöra en central del av den marina miljöövervakningen.

Enligt EU:s art- och habitatdirektiv (92/43/EEC) och havsmiljödirektiv (2008/56/EG) samt de regionala havsmiljökonventionerna HELCOM och OSPAR är medlemsländerna skyldiga att kartlägga, övervaka och utvärdera förändringar i kvalitet och areell utbredning av olika marina naturtyper, biotoper och habitat. EU:s biodiversitetsstrategi för 2030 lägger speciell fokus på tillståndet i grunda ma-

rina områden, med ökade krav på omfattning av skydd, åtgärder och förbättrad status. Vidare kommer den förväntade förordningen om restaurering av natur (Klimat- och näringslivsdepartementet, M2022/01470) sätta tydliga krav på att medlemsländerna kan mäta och följa upp mål om förbättringar av den areella utbredningen av utpekade livsmiljöer och habitat. I Sverige saknas dock till stor del kartor över marina livsmiljöers utbredning idag, liksom en fortlöpande nationell övervakning av kusthabitats areella utbredning. Denna brist gör det svårt att uppfylla de krav som internationella konventioner och EU-direktiven ställer, exempelvis att genomföra en korrekt statusklassning olika naturtyper tillstånd enligt Art- och habitatdirektivet.

1.1.2. Tillgängliga metoder – styrkor och svagheter

Historiskt sett har höga kostnader relaterade till traditionell kartläggning av grunda marina biotoper med hjälp av till exempel vattenkikare, dropvideo och dykare förhindrat en storskalig kartläggning av marina habitat. Den senaste tekniska utvecklingen inom området för fjärranalysteknik öppnar dock nya möjligheter att kartlägga grunda vattenmiljöer över stora områden på ett effektivt sätt. Till exempel tillhandahåller EU-programmet Copernicus sedan ett par år tillbaka högupplösta satellitbilder gratis av alla kustområden i Europa med hög frekvens. Det finns också möjlighet att köpa satellitbilder med högre rumslig eller tidsmässig upplösning. Inom uppdraget har bilder från WorldView 2/3 köpts och utvärderats (EOMAP 2019, DHI 2021). Utvecklingen av små, flygande drönare kan ge mycket högupplösta bilder över utvalda områden till en låg kostnad. Även ekolodstekniken har utvecklats snabbt, där halvautomatiska ytdrönare nu kan kartlägga grunda vattenmiljöer i mindre områden. Nya studier visar lovande resultat med hjälp av satellit- och drönarbilder för kartläggning av kustvegetation i Sverige (se bland annat Envall 2012, Infantes 2018, Infantes m.fl. 2019, Paz von Friesen 2019), men har också identifierat utmaningar både med att uppnå god noggrannhet och precision i klassificeringen av marina habitat, samt när det gäller kostnadseffektivitet.

I en studie där tre olika metoder jämfördes för att kartlägga ålgräsängar i Bohuslän (Infantes m.fl. 2019) visade metoderna olika styrkor och svagheter. Den traditionella metoden där vegetationen kartläggs från båt med vattenkikare, dropvideo och GPS gav god skattning av vegetationen i områden med enhetliga ängar, men sämre resultat där vegetationen var fragmenterad. Metoden var robust mot sämre väderförhållanden, men arbetskrävande och den minst kostnadseffektiva tekniken av de jämförda metoderna vilket begränsar den till mindre områden (Tabell 1).

Metoden där små, flygande drönare kombineras med provtagning i fält med dropvideo gav hög noggrannhet också i lokaler med låg vattenkvalitet, och var den enda metod som kunde kartlägga högfragmenterade bottnar med vegetation på ett tillförlitligt sätt. Fotografering med drönare kräver goda väderförhållanden, men genom att metoden tillåter användare att välja tidpunkt för provtagningen kan foton av god kvalitet normalt fås från valda lokaler. Drönaren kan dock endast fotografera ett mindre område, och tekniken kräver fältreferensdata och separat bildanalys från varje lokal, vilket gör metoden mindre kostnadseffektiv än klassning med satellitbilder och begränsad till mindre skala (Tabell 1).

Den huvudsakliga fördelen med fjärranalys från satellitbilder var dess kostnadseffektivitet och möjlighet att täcka in stora områden. Vid bildanalys sker klassning av en satellitbild i taget med hundratals grundområden på samma gång med samma träningsdata vilket gör metoden oerhört effektiv. Vid användning av Sentinel satellitbilder från Copernicus-programmet är bilderna också gratis. Den huvudsakliga svagheten med metoden är den lägre noggrannheten, framför allt i områden med sämre vattenkvalitet. Den lägre noggrannheten beror till största delen på att klassningen av vegetation sker i ett stort antal områden med olika väderförhållanden och vattenkvalitet, vilket gör det svårt att optimera analysen för alla områden. Det utgör också en utmaning att bilderna ofta inte är tagna under ideella väderförhållanden, vilket begränsar användbara bilder per säsong. Den lägre upplösningen i bilden (10x10 m) begränsar också precisionen och möjligheter att kartlägga högfragmenterade vegetationsängar och detektera små förändringar på ett tillförlitligt sätt (Tabell 1). Slutsatsen från studien var att ingen av metoderna var de andra överlägsna på alla sätt, utan att ett övervakningsprogram för areella utbredning av vegetation bör bestå av en kombination av de tre metoderna.

Tabell 1. Jämförelse mellan tre metoder för att kartlägga den areella utbredningen av ålgräs inom tre områden i Bohuslän (anpassad från Infantes m.fl. 2019). Analyskalkyl avser rekommenderad analysomfattning. Bildupplösning avser upplösningen på de bilder som kan analyseras. Väderkänslighet avser hur känslig provtagningen/fotografering är för dåliga väderförhållanden och vattenkvalitet, samt hur flexibel provtagningen är att välja goda förhållanden. Kostnadseffektivitet avser den totala arbetstiden per klassat område och inkluderar alla arbetsmoment i klassningsprocessen (fotografering, fältinsamling, bildanalys, m.m.). Skattad noggrannhet avser den beräknade noggrannheten där valideringspunkter jämförs med klassade ytor (kan ej beräknas för dropvideo metoden). Angivna värden är medelvärden från tre områden med 7 lokaler vardera.

Jämförelse	Dropvideo	Drönare	Satellit
Jämförelse	Viknivå (10-100ha)	Viknivå (10-100ha)	Landskapsnivå (> 100ha)
Bildupplösning	<1 cm	3x3 cm	10x10 m
Minsta karteringsyta	-	≈ 1 m ²	≈ 1000m ²
Väderkänslighet	Låg	Mellan	Mycket hög
Kostnadseffektivitet	Låg	Mellan	Mycket hög
Skattad noggrannhet	-	78–84%	55–80%

För behov att detektera småskaliga förändringar med hög precision rekommenderas en kombination av fjärranalys med drönare och dropvideo, där ett begränsat antal lokaler inom ett område övervakas över tid. För övervakning av storskaliga förändringar i hela regioner rekommenderas satellitbildsanalys, där resultat från den småskaliga övervakningen används för att skatta och förbättra noggrannheten i analysen (Infantes m.fl. 2019).

Hösten 2019 samlades nationella och internationella experter på fjärranalystekniker och kartläggning av marina livsmiljöer i en workshop för att diskutera hur en nationell övervakning av marin vegetation skulle kunna utvecklas i Sverige med fokus på behovet att kunna genomföra statusklassning av olika naturtypers tillstånd enligt Art- och habitatdirektivet. Konsensus från workshopen var att ett hierarkiskt tillvägagångssätt av metoder skulle tillämpas, där satellitbildsanalys skulle användas för att få en

rikstäckande täckning för klassificering av storskaliga livsmiljöer eller naturtyper, och där högupplösta bilder från flygande drönare och fältbaserade metoder (till exempel dropvideo, ekolod) skulle användas för att erhålla data med högre precision om arealutbredningen och kvaliteten på livsmiljöer i utvalda, mindre, lokaler längs kusten. Vid tidpunkten saknades dock metoder för att genomföra en landsomfattande klassning av vegetation längs Sveriges kuster baserat på satellitdata, samt kunskap om hur man bäst kombinerar olika fjärranalystekniker med fältinsamlade data för att erhålla den noggrannhet och kostnadseffektivitet som krävs för en rikstäckande kartläggning och övervakning av grunda marina livsmiljöer.

1.2. Uppdrag och mål med arbetet

Denna rapport är resultatet av ett flerårigt uppdrag som Länsstyrelsen Västerbotten haft i samverkan med Göteborgs universitet och ett flertal kustlänsstyrelser. Uppdraget har utgjort en fortsättning på tidigare arbeten med att utveckla fjärranalysmetoder för kartläggning och övervakning av kustnära marin vegetation. Uppdraget syftar till att testa och utvärdera om satellitbildsanalyser, i kombination med fältbaserade metoder med flygande drönare skulle kunna användas i ett rikstäckande övervakningsprogram av grunda, kustnära livsmiljöer som uppfyller kraven i EU-direktiv och nationella miljömål när det gäller att upptäcka förändringar i areell utbredning och kvalitet över tid.

Uppdraget var uppdelat i två separata, men interagerande studier: (1) utveckling och utvärdering av fältbaserad provtagning med flygande drönare och dropvideo för att övervaka förändringar i vegetationsutbredning med hög precision i utvalda områden, och (2) utveckling och utvärdering av ett halvautomatiskt analysverktyg för att övervaka kustvegetationens totala utbredning baserat på satellitbilder. En huvudmålsättning med uppdraget har varit att till år 2023 skapa förutsättningar för en uppstart av ett nationellt satellit- och drönarbaserat övervakningsprogram av undervattensvegetationens areella utbredning och tillstånd i grunda marina områden.

2. Genomförande och resultat

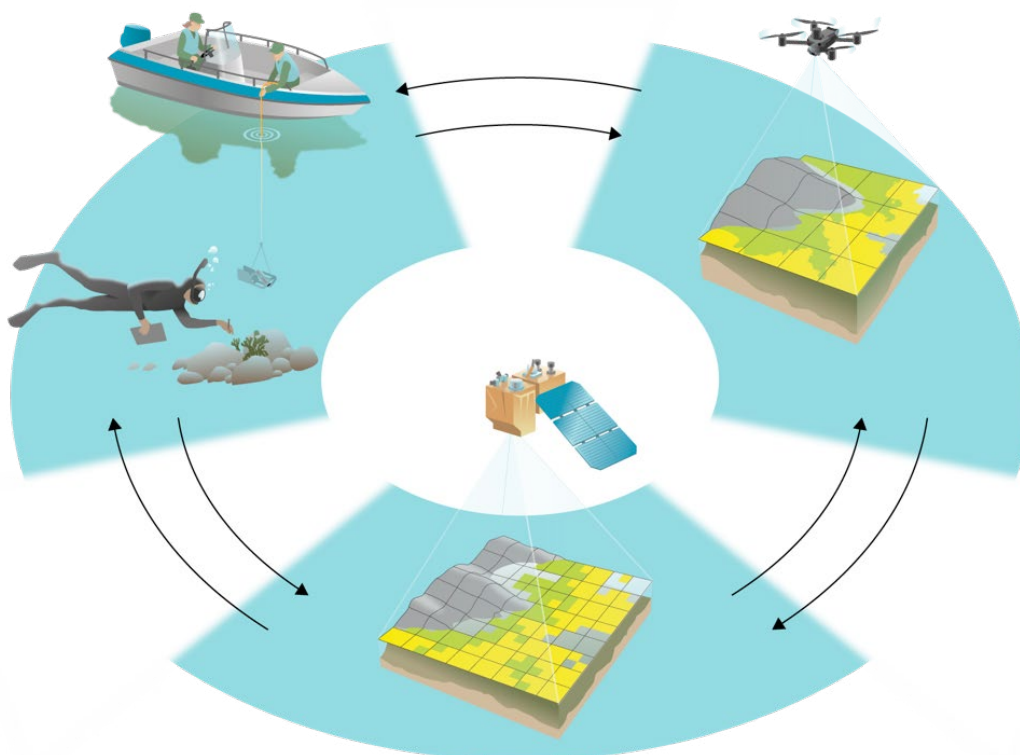
2.1. Utveckling av drönarmetoder för övervakning

2.1.1. Metodöversikt

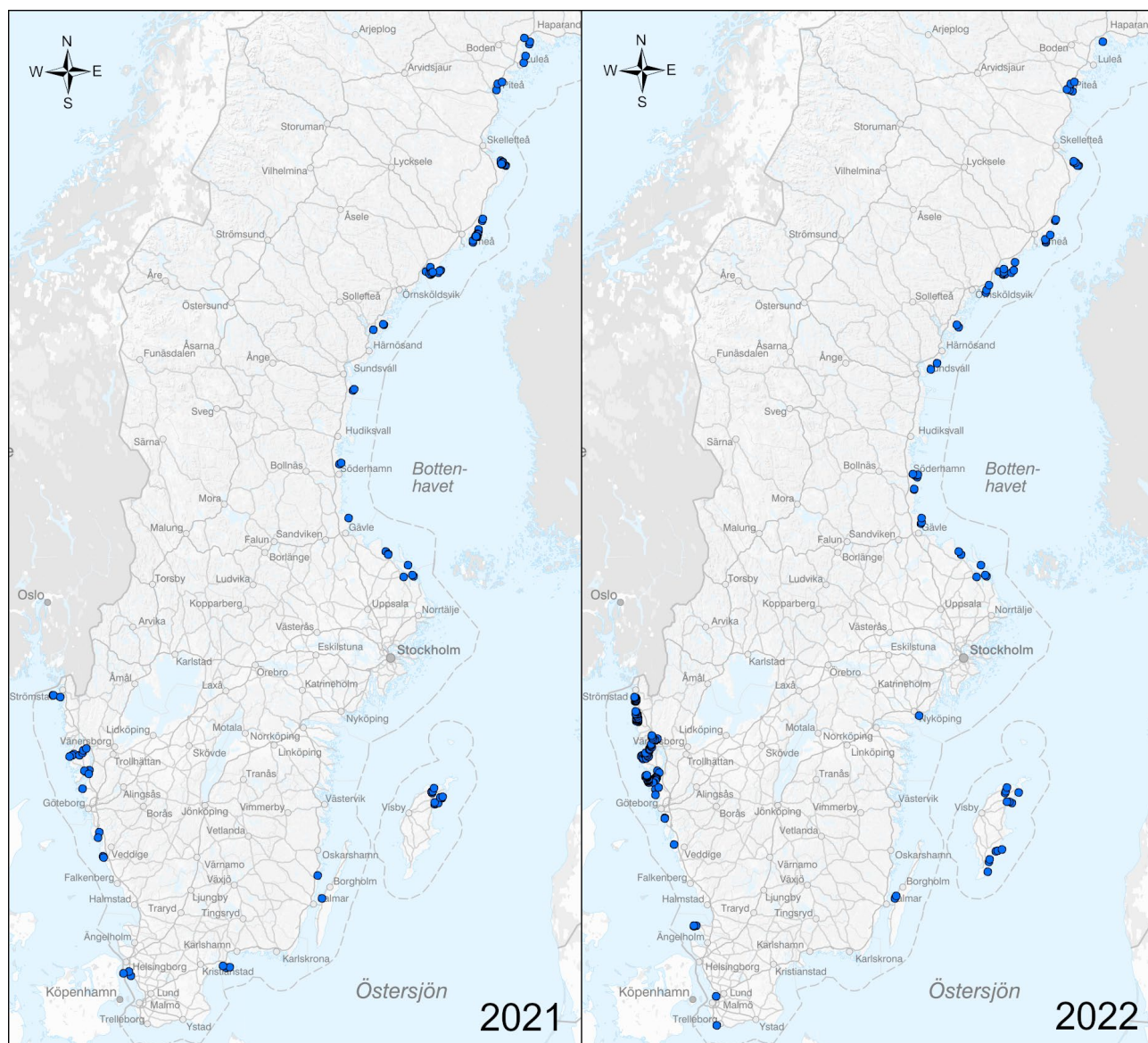
I studien användes beskrivna metoder för drönarprovtagning för areell utbredning av vegetation (Infantes 2018, Infantes m.fl. 2019, Paz von Friesen 2019, bilaga 1) som vidareutvecklades och förfinades under projektets gång (Figur 1). I korta ordalag använder metoden små flygande drönare som flyger på ca 120 m höjd med en förprogrammerad rutt över provlokalen där den tar 100-tals överlappande bilder som en mjukvara därefter sätter ihop till en så kallad ortomosaik. Nära inpå flygningen tas ca 50-100 referenspunkter av olika bottenstrukturer och vegetationssamhällen i samma lokal (s.k. fältreferenspunkter eller ground truth) med hjälp av vattenteknikare eller dropvideo från båt, eller genom snorkling i grunda flador (se bilagor 2-3 för protokoll).

Proverna tas från båt eller SUP-bräda och med noggrann GPS position. På västkusten tas även prover för att bestämma ålgräsängarnas maximala djuputbredning på samtliga lokaler i samband med insamling av referensdata (bilagor 4-5).

Ortomosaikerna skapas med en speciell mjukvara som också rektifierar bilderna (bilaga 6) varefter mosaiken importereras till en GIS-mjukvara som tränas på att klassificera vegetation och andra bottenarter i bilden med hjälp av referenspunkterna (bilaga 7). Slutprodukten är en drönarbild (ortomosaik) och GIS-data som visar utbredningen av olika klassade bottenarter som polygoner, samt som beräknad areal. Med hjälp av oberoende referenspunkter kan också noggrannheten i klassningen beräknas. Termen "noggrannhet" syftar i detta fall till andelen korrekt klassade valideringspunkter från fält, vilket även kallas "total accuracy" eller "overall accuracy".



Figur 1. Översiktsbild av använda metoder och hur de interagerar inom marin fjärranalys.



Figur 2. Samlad kartbild av lokaler som fotograferats med drönare under 2021 och 2022. I många områden ligger undersökta vikar och laguner så nära att punkterna sammanfaller.

2.1.2. Utförande av vegetationskartering

Under perioden 2020–2022 har över 250 olika lokaler från Kosteröarna i Västerhavet till Råneå i Bottenviken i Östersjön provtagits med flygande drönare och dropvideo, vattenkikare eller snorkling (Figur 2). All provtagning har skett inom uppdraget i samarbete med olika länsstyrelser och Göteborgs universitet. Nedan följer en beskrivning av provtagningen mer i detalj.

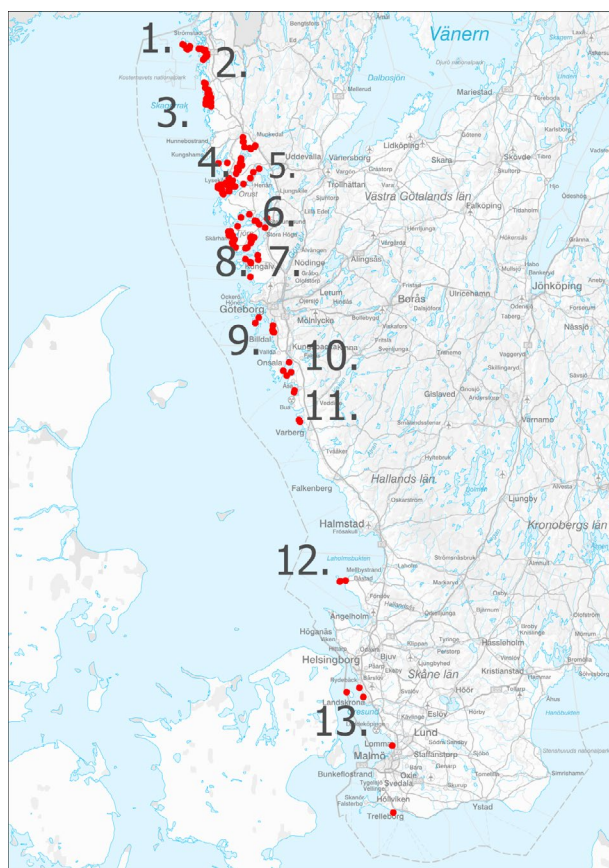
Västerhavet

I Bohuslän har ålgräs karterats med drönare och dropvideo sedan 2018, framför allt runt Koster (Infantes 2018) samt runt Gullmarsfjorden och i fjordområdena innanför Orust och Tjörn (Infantes m.fl. 2019). I detta uppdrag användes tidigare data för att få långa tidserier vid vissa lokaler samtidigt som nya lokaler provtogs för att inkludera representativa områden med ålgräs hela vägen från norra Bohuslän ned till Öresund för ett framtida nationellt övervakningsprogram för vegetation. Under period 2020–2021 provtogs totalt 37 lokaler, 10 av dem vid båda åren.

Tabell 2. Summering av områden och antalet drönarprovtagna lokaler per område i Västerhavet under perioden 2018–2022.

Område	Antal lokaler
1. Koster	36
2. Rässö-Galtö	11
3. Grebbestad-Fjällbacka	20
4. Gullmarsfjordsområdet	41
5. Ellös-Havstensfjord	5
6. Stig-Askeröfjorden	5
7. Hake-Älgöfjorden	15
8. Väst Tjörn	15
9. Göteborgs S skärgård	5
10. Kungsbackafjorden	4
11. Vendelsö-Balgö	3
12. Torekov-Hallands Väderö	3
13. Landskrona-Ven	4
Totalt	163

Under 2022 utvidgades uppdraget i samarbete med Länsstyrelsen i Västra Götaland och LOVA-medel som finansierade en stor del av fältprovtagningen med dropvideo. Totalt provtogs 106 lokaler med drönare och dropvideo under sommaren 2022 från Koster ned till Öresund, med två separata drönar-team från Göteborgs universitet. Detta motsvarar en inventerad bottenyta på över 5 000 hektar och visar att drönarometoden kan vara mycket effektiv. Sammantaget har 167 lokaler inventerats av projektgruppen i Västerhavet, fördelade inom 13 områden (Tabell 2). Ett 20-tal av dessa har hittills besökts minst två gånger. Storleken på de undersökta lokalerna i Västerhavet varierade mellan 7 och 154 ha, med en medelstorlek på 53 ha.



Figur 3. Kartbild över karterade områden i Västerhavet.

De flesta lokaler faller inom naturtypen "stora grunda vikar och sund" (1160) samt sand- och lerbankar eller bottnar (1110 och 1140). I samtliga lokaler var den dominerade vegetationen på mjukbottenarna ålgräs, i vissa fall med mindre inslag av natingar på de grundaste delarna. Även fintrådiga alger var vanliga på den fleråriga vegetationen, och i de grundare delarna hittades ofta mattor av fleråriga brunalger.

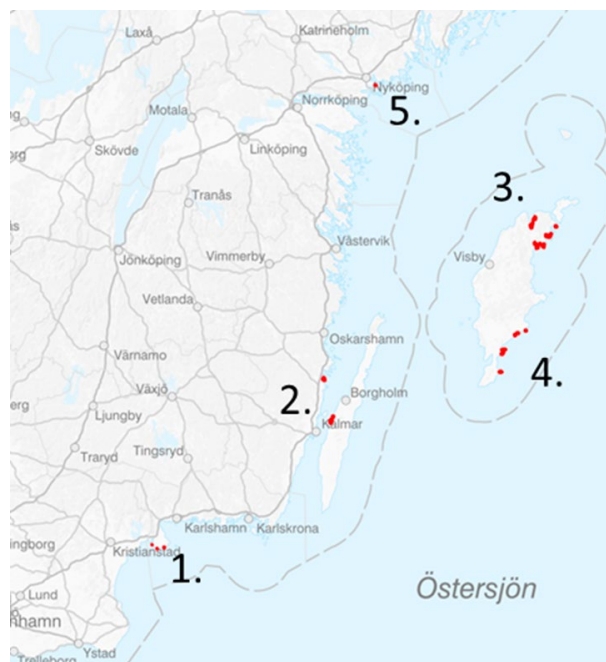
Egentliga Östersjön

Under åren 2020–2022 har länsstyrelserna i Kalmar, Blekinge, Södermanland och Västerbotten flugit grunda havsområden i olika delar av Egentliga Östersjön. Det skapades ortomosaiker av en yta på omkring 2800 ha. Fältpreferenspunkter samlades in för totalt 31 lokaler fördelade i fem områden (Tabell 3). Storleken på lokalerna varierade mellan 18 och 100 ha. Fältpbesök gjordes av respektive länsstyrelse förutom på Gotland där hjälp av andra projekt och kompletteringar med konsultuppdrag nyttjats för insamling av fältpreferensdata. Referensdata har samlats in med dropvideo och vattenkikare men även dataunderlag i form av sidescan sonar finns från Gotland.

Lokalerna faller inom naturtyperna "stora grunda vikar och sund" (1160) samt sandbankar och blottade lerbottnar (1110 och 1140). Vegetation är varierad med inslag av ålgräs och borstnate eller natingar och med frekvent inslag av trådalger endera fastsittande eller drivande. På de grundare delarna med hårbotten är blåstång vanligt förekommande. Ortofoto som skapades var av varierande kvalitet, vilket gör att alla lokaler inte kan analyseras. Detta har varit en viktig lärdom i olika förbättringar av metoden som beskrivs bland annat i avsnitt 2.3.

Tabell 3. Summering av områden och antalet drönarprovtagna lokaler per område i egentliga Östersjön under perioden 2021–2022. Den inlagda kartan visar områdenas placering.

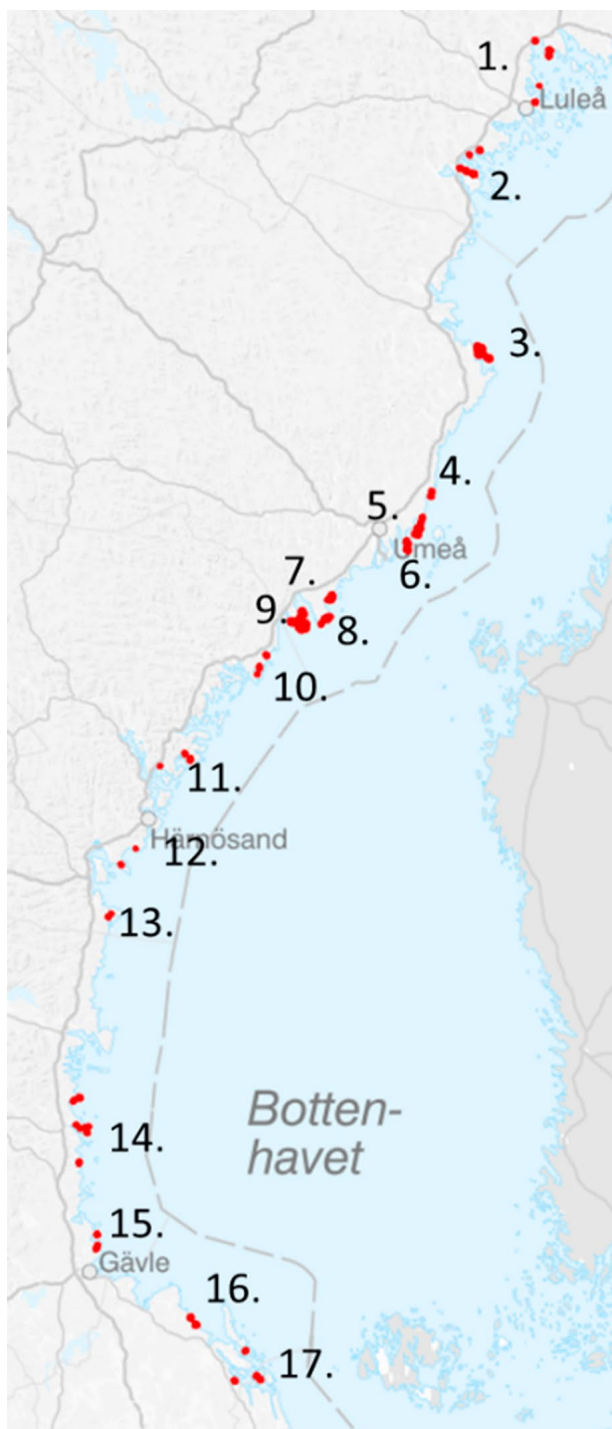
Område	Antal lokaler
1. Sölvesborg	3
2. Kalmar	3
3. Norra Gotland	13
4. Södra Gotland	6
5. Södermanland	3
Totalt	31



Figur 4. Kartbild över områdena i Egentliga Östersjön.

Bottniska viken

I Bottniska viken har provtagning skett längs hela kusten. Flest lokaler och områden har provtagits i Västerbottens län där vegetationen karterats med drönare sedan 2018 (Paz von Friesen 2019). Fem lokaler har provtagits återkommande från 2018 eller 2019 för att skapa ett antal långa tidserier.



Figur 5. Kartbild över områdena i Bottniska viken.

Tabell 4. Summering av områden och antalet drönarprovtagna lokaler per område i Bottniska viken under perioden 2021–2022. Den inlagda kartan visar områdenas placering.

Område	Antal lokaler
1. Luleå	5
2. Piteå	5
3. Malören	8
4. Ratu	2
5. Osnäs	10
6. Tavasten	6
7. Norrbyn	3
8. Järnäs	6
9. Kronören	7
10. Husum	3
11. Berghamn	3
12. Ävikebukten	2
13. Skatan	2
14. Söderhamn	8
15. Gävle	3
16. Öregrundsgrepen	2
17. Öregrund	4
Totalt	73

I de tidigare arbetena har i huvudsak vegetation i avsnörda grunda vikar av naturtypen laguner eller flador (1150) karterats. Inom detta uppdrag har totalt 24 lokaler fotograferats med drönare och inventerats med snorkling eller vattenkikare i Västerbotten, inklusive både laguner och naturtypen "stora grunda vikar och sund" (1160) under perioden 2020–2022. Undersökta flador var generellt små (1–11 ha) med en medelstorlek på 7,6 ha, medan lokalerna inom naturtypen "stora grunda vikar och sund" var lite större (5–27 ha) med en medelstorlek på 11,4 ha. Både naturtyperna uppvisade en stor mångfald av akvatiska växter som dominerades av nateängar, hårsårvar, slingor, havsnajas, kransalger och fintrådiga algmattor.

Under perioden 2021–2022 har fler länsstyrelser hjälpt till med insamling av fältdata med drönare och genom snorkling. Ortofoto motsvarande en yta på 12 500 ha har samlats in fördelat över 73 lokaler i 17 områden (Tabell 4). Delar av drönardata har enbart använts som referens för satellitbilsanalyser. Även i Bottniska viken fanns ett antal lokaler där vattenkvalitet och andra faktorer gjort att bildanalyser misslyckats.

2.1.3. Utvärdering av noggrannhet och precision

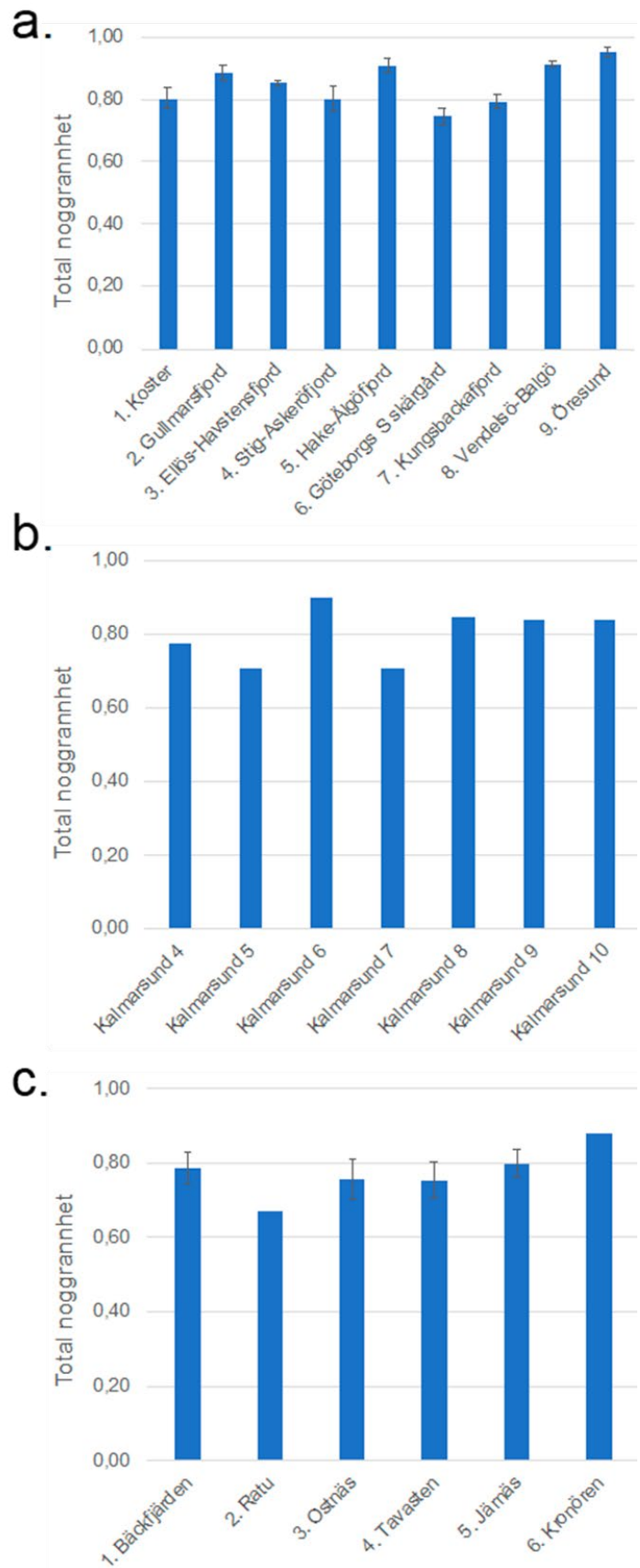
Generellt har klassningen av vegetation med drönarmetoden uppnått mycket god noggrannhet i alla undersökta havsområden (i medeltal 0,77–0,85; Figur 6), även i områden med sämre vattenkvalitet så länge vegetation kan ses med flygande drönare under goda förhållanden. Den höga upplösningen i bilderna (3–6 cm) och RTK-GPS-teknik ger mycket hög precision och möjlighet att kartlägga komplexa utbredningsmönster av vegetationen med fragmenterade ängar, samt att detektera mycket små förändringar på tiotals kvadratmeter.

Det som begränsar precisionen i analysen av vegetationens utbredning är i stället svårigheten att separera flerårig fastsittande vegetation som ålgräs från mattor av drivande alger som ofta ackumuleras i de grundaste delarna av lokalerna där de täcker och blandas med den fastsittande vegetation. Detta ger en svårklassificerad zon närmast land som exempelvis kan generera en årsvariation på upp till 10% vid klassning av ålgräsängar i Västerhavet.

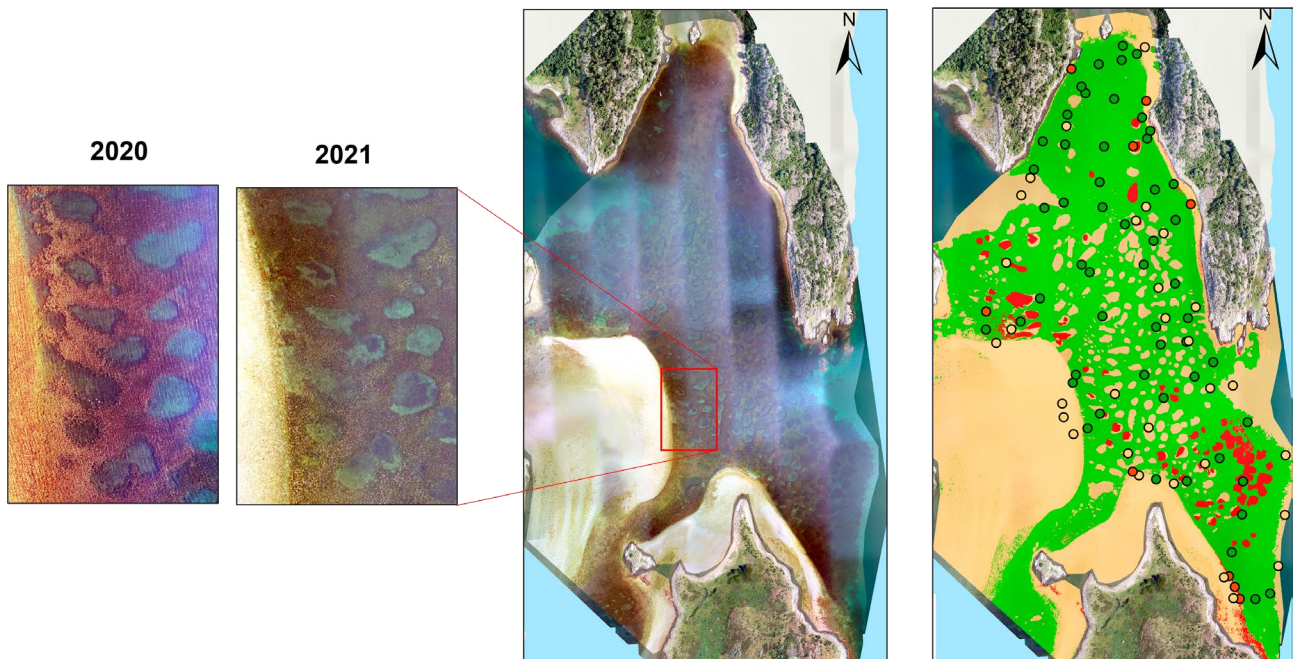
I vissa områden i Östersjön och Bottniska viken utgör dock ihållande perioder med dålig vattenkvalitet, till exempel från algbloomingar eller stora regnmängder (medför mycket humusrikt, brunt vatten) en utmaning för att kunna kartlägga djupare vegetationsbestånd. Olika havsområden domineras också av olika typer av vegetation där bland annat en naturlig stor variation i artsammansättning och utbredning av kortvuxna arter i Bottniska viken utgör en utmaning för övervakning. Antalet arter av undervattensvegetation ökar också norröver i Bottniska viken där mer sötvattensarter förekommer längs kusten. Nedan följer en mer detaljerad beskrivning av resultaten i de olika havsområdena.

Västerhavet

I Västerhavet, från norska gränsen till Öresund domineras den fleråriga vegetationen på mjukbotten helt av ålgräsängar med mindre inslag av natingar i grundare områden (<1 m). Ängarna är ofta väl definierade med skarpa gränser vid djuputbredning som oftast kan ses med drönare vid goda väderförhållande också när de växer ned till 5–6 m djup. De tydligt avtecknade ängarna och den generellt goda vattenkvaliteten ger goda förhållanden för att kartlägga vegetation med drönare, vilket ses i en generell hög noggrannhet i alla undersökta områden (i medeltal 0,85; Figur 6a). I denna analys separerades ålgräs-nating-ängarna från mattor av drivande brunalger och botten utan vegetation.



Figur 6 (t.h.). Total noggrannhet vid klassning av vegetation provtagna med drönare i tre olika havsområden. (a) Medelvärden (+SE) vid klassning av ålgräs och natingar från totalt 34 lokaler inom 9 områden i Västerhavet mätta vid 45 tillfällen 2020–2021. (b) Total noggrannhet vid klassning av vegetation (i huvudsak ålgräs) vid 7 lokaler i Kalmarsund, Egentliga Östersjön, år 2020. (c) Medelvärden (+SE) vid klassning av vegetation (4–5 släkten) från totalt 18 lokaler inom 6 områden i Västerbottens län, Bottniska viken, mätta vid 24 tillfällen 2021–2022.

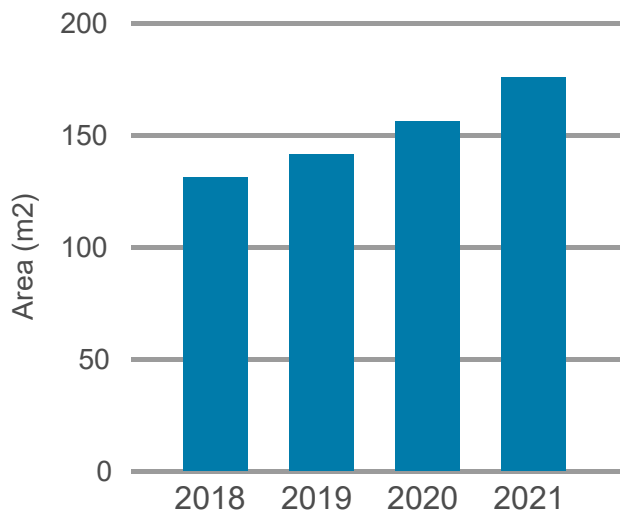


Figur 7. Exempel på precision drönar-metoden i ängar med fragmenterad utbredning. (a) Drönar-mosaikbild på ålgräsäng vid Ramsö i Kungsbackafjorden i Hallands län 2021 som visar typiska s.k. "häxhål" i ängen. (b) Klassning av ålgräs (grön), brunalgsmattor (röd) och lerbotten utan vegetation (beige) från drönar-bilden. Totalt identifierades 48,2 hektar ålgräs i bilden med en total noggrannhet på 0,86. De inlagda bilderna visar samma mindre del av ängen fotograferade 2020 och 2021, och demonstrerar att hålen är överraskande stabila mellan åren.

Drönarbildernas höga upplösning (3–6 cm) och användandet av RTK-GPS-teknik i fält ger mycket hög precision i analysen och möjligheter kartlägga också mycket fragmenterade ängar med små strukturer (Figur 7). Vidare ger det möjlighet att detektera mycket små förändringar över tid. Detta demonstreras bland annat vid övervakning av planterat ålgräs vid Gåsö i Bohuslän. Där planterades en mindre ytan med ålgräs på 10x10 m 2015 vars utbredning mättes i drönar-mosaiker över en 4-årsperiod (2018–2021).

Resultaten visar en årlig tillväxt på 10–20 m² som kunde detekteras i det planterade området (Figur 8). Drönartekniken används också framgångsrik för att mäta hur planterat ålgräs tillväxer i utbredning och successivt fyller ut en-metersluckor mellan ålgräsplottar som planterats i ett schackbrädsmonster på 1x1 m (Figur 9). Vid kända strukturer kan alltså mycket små förändringar mätas med drönar-metoden.

Tillväxt testplantering 10x10m



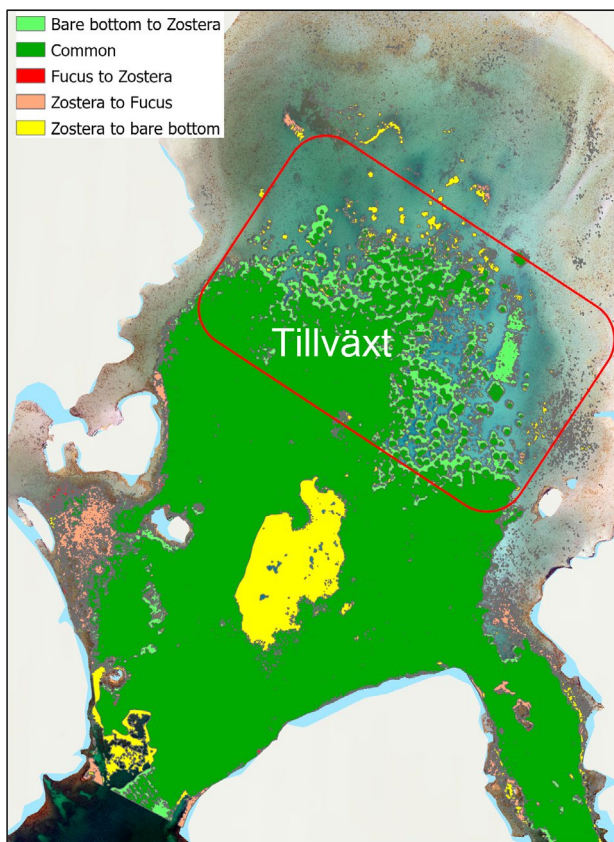
Figur 8. Tillväxt av ålgräsplantering mätt med drönare. Uppmätt area (m²) vid juli månad under en 4-årsperiod av en ålgräsplantering på 10x10 m som planterades 2015.

Det som begränsar möjligheten att detektera förändringar i utbredning av flerårig vegetation är dock inte upplösningen i bilden utan utmaningen att separera grunda bestånd av ålgräs och natingar från mattor av drivande alger som ofta täcker de grundare delarna av undersökta lokaler. I de lokaler i Västerhavet där provtagning genomförts under flera år (totalt 14 lokaler) visar samtliga lokaler en relativt hög stabilitet i utbredning; i medeltal har ängarna förändrats endast 8% över en 4-årsperiod; ingen äng har förändrats mer än 24% (Tabell 5). Denna stabilitet syns också i beräknad standardavvikelse av årsvariationen i areell utbredning som i medeltal utgör endast 4,8% av medelvärdet i areell utbredning (Tabell 5). En kvalitativ analys av dessa förändringar visar att nästan all årsvariation hittas i de grundaste delarna av lokalerna där olika förekomst av drivande alger påverkar skattningen av den flerårig vegetationen.

Årsförändringar av den totala skattade areal av en ålgräsäng som är mindre än 10% bör därför tolkas försiktigt då den till största delen kan bero på naturlig variation av algmattor som täcker de grunda delarna av ängen. Denna "kanteffekt" hindrar dock inte att "sanna" förändringar av mindre storlek kan detekteras med en kvalitativ analys. Exempelvis har en mer permanent förlust av ålgräs uppstått i de centrala delarna av en äng över en tvåårs period som detekterats trots att den endast utgör ca 7% av ängen (Figur 9). Denna förlust kunde lätt ha missats med dropvideo, och detekterades ej med satellitbildsanalys (se avsnitt 2.2). När en förlust väl detekteras kan dess förändring lätt följas och mätas med hög precision efterföljande år.

Tabell 5. Mellanårsvariation av ålgräsutbredning i Västerhavet. Förändring av areell utbredning av ålgräsängar, skattat med drönare och fältprovtagning, 2018-2021. De tre sista kolumnerna visar förändring (i hektar och % av den initiala vegetationsytan) från det första till det sista året, samt variationskoefficienten (CV), dvs. kvoten mellan standardavvikelsen (SD) och medelvärdet. Medelvärden av förändring baseras på absolutvärdena av lokalernas förändring.

Område	Lokal	2018 (ha)	2019 (ha)	2020 (ha)	2021 (ha)	Förändr. (ha)	Förändr. (%)	CV
Koster	Tenholmen			7,1	6,6	-0,5	-7%	5,4%
Koster	Hanneviken		32,6	30,7		-1,9	-6%	4,3%
Gullmarsfjord	Grötö		1,7	1,7		0,0	0%	0,3%
Gullmarsfjord	Lindholmen	10,3	10,0	8,8	8,8	-1,5	-14%	8,1%
Gullmarsfjord	Bökevik	7,5	7,9	8,2	8,0	0,5	6%	3,6%
Gullmarsfjord	Gåsö	11,7	11,9	11,6	11,0	-0,7	-6%	3,1%
Havstensfjord	V Hjältön		27,8		25,7	-2,1	-7%	5,5%
Havstensfjord	Strandhagen		19,6		19,2	-0,4	-2%	1,5%
Havstensfjord	Fladholmen		11,9		13,0	1,1	9%	6%
Havstensfjord	Nordtången		16,6		16,7	0,1	1%	0,5%
Askeröfjord	Askerön		11,0	11,8	13,6	2,6	24%	11,0%
Hakefjord	Kåkenäs			23,6	28,8	5,2	22%	14,0%
Hakefjord	Nordön			21,5	20,8	-0,7	-3%	2,2%
Kungsbackafjord	N Ramsö			44,2	43,0	-1,1	-3%	1,8%
Medelvärde						1,3	7,9%	4,8%



Figur 9. Kompositbild som visar förändring i utbredning av ålgräs (*Zostera*) och brunalgsmattor (*Fucus*) vid Gåsö i Gullmarsfjordsområdet i Västra Götalands län mellan 2018 och 2021. Under perioden har ett 7000 m² stort hål dykt upp i mitten av ängen (gul färg), samtligt som ålgräset tillväxt i de grunda delarna av viken (ljusgrön färg), speciellt i det nordöstra hörnet där ca 800 m² av ålgräs tillkommit från ålgräsplanteringar.

I vissa mer exponerade områden, som i Öresund, men också i Skånes kustvatten i Östersjön och i Kalmarsund hittas mycket stora ålgräsängar som ofta växer lite djupare (2–7 m) och ofta flera hundra meter från land. Detta kan medföra en utmaning med att sätta samman en ortomosaik från drönarfoton då landstrukturer kan saknas i många bilder, vilket kan resultera att djupare delar av ängen inte kommer med i bilden (Figur 10). Om ängarna inte är för stora kan kartläggning med sonarteknik av djupkanten vara en lösning (se avsnitt 2.1.5). Om ängarna är mycket stora kan satellitbildsanalys vara det bättre alternativet (se avsnitt 2.2).

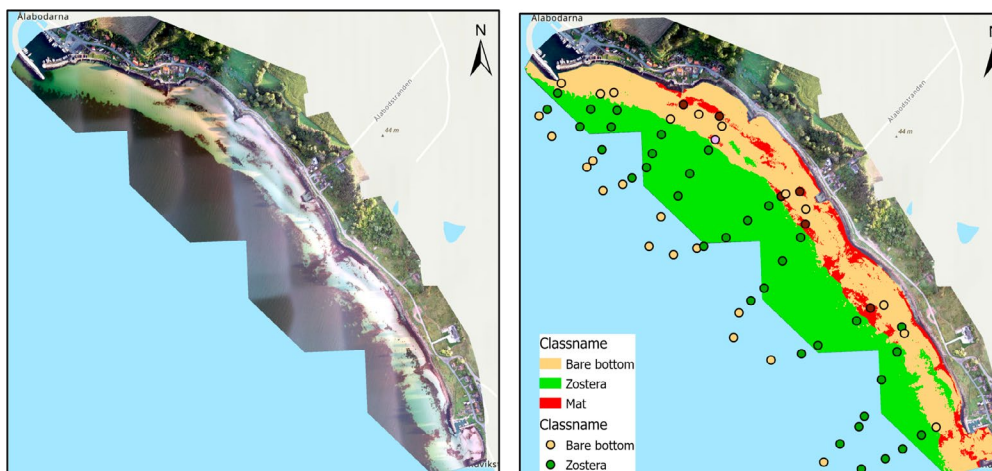
Egentliga Östersjön

Runt Skånes och Blekinges kuster samt i Kalmarsund och runt Öland och Gotland dominerar ålgräsvegetationen framför allt i områden med god vattenomsättning, medan borstnate och ålnate dominerar i skyddade vikar med högre näringsbelastning. I Skåne och i Kalmarsund hittas ålgräs ofta på lite djupare områden (2–6 m djup), och ofta flera hundra meter från land, vilket kan medföra utmaningar för kartering av typen som demonstreras i Figur 10.

I Kalmarsund visar dock analys av drönarbilder från 7 lokaler att metoden ger hög noggrannhet vid skattning av vegetation och vegetationsfri botten (i medeltal 0,80; Figur 6b). Vegetationen vid lokalerna bestod till största delen av ålgräs med inslag av borstnate samt grunda stenar och block vilka ofta är täckta av blåstång. Vegetationen har också stora inslag av filamentösa alger som kan täcka både mjuk- och hårbottenvegetationen.

Analys av tre lokaler på Gotland visade också en hög noggrannhet (i medeltal 0,77). Vegetationen i lokalerna på Gotland dominerades av borstnate ner till ca 2,5 meters djup med frekventa inslag av filamentösa alger och blåstång. Djupare än 3 m dominerades lokalerna av ålgräs.

Data från 2022 är ännu inte färdiganalyserad från dessa områden varför skattningar av årsvariation ännu ej kan presenteras. Likaså återstår analyser av bilder från Södermanland från 2022.



Figur 10. Exempel på problem med att sätta samman en komplett ortomosaik från drönbilderna i områden där stora ängar växer långt från land. (a) Drönbild-mosaikbild på ålgräsäng vid Ålabodarna i Öresund. Notera hur mosaiken inte får med de djupare delarna av ängen trots att dessa fotograferats. (b) Klassning av ålgräs (grön), brunalgsmattor (röd) och sandbotten utan vegetation (beige) från drönbilden. De färgade prickarna är fältprovtagning med dropvideo av referenspunkter av olika botten typer. Notera hur punkterna indikerar att ängen fortsätter utanför ortomosaiken.

Bottniska viken

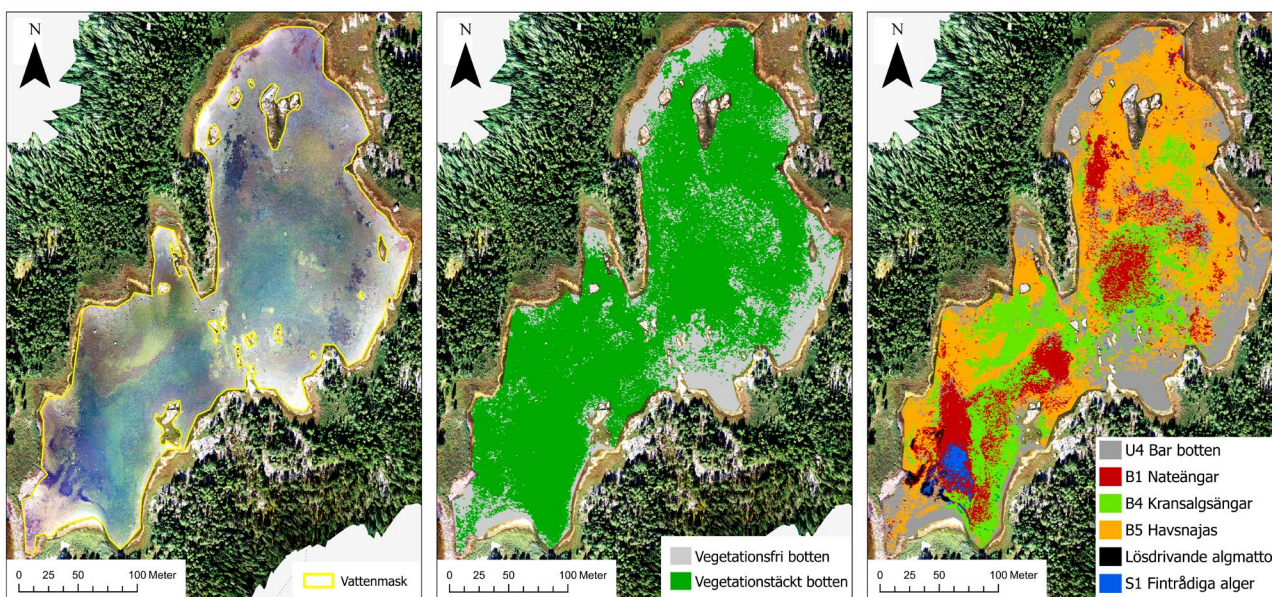
I Bottniska viken har drönbildstudier i huvudsak utförts i Västerbottens län, och där i huvudsak i mindre och instänga grundområden av naturtypen "kustnära laguner" (1150) också kallad flador. Dessa mycket grunda områden visar ofta en stor blandning av undervattensväxter som kan domineras av natearter, hårsärvar, slingor och kransalger som ofta visar en stor variation i utbredning över säsong och år, vilket är en utmaning för klassningen av vegetation och för övervakning om områdenas vegetationsutbredning. Trots dessa utmaningar visar klassningar av vegetation och vegetationsfri botten på en hög noggrannhet i undersökta naturtyper (i medeltal 0,77; Figur 6c). Försök visar att det också går att separera olika typer av dominerande vegetation motsvarande EUNIS-klasser på nivå 5, men att noggrannheten i analysen minskar (i medeltal 0,60; Tabell 6; Figur 11).

Tabell 6. Medelvärden av beräknad total noggrannhet i drönbildklassningarna av vegetation i Västerbottens län för två undersökta naturtyper "laguner" och "stora grunda vikar och sund". Noggrannheten är beräknad antingen där alla akvatiska växter klassas som vegetation (Tot. nog. veg) eller där växterna separeras i 3–5 olika arter enligt EUNIS klasser på nivå 5 (Tot. nog. 3–5 arter).

	Antal lokaler	Tot.nog. veg	Tot.nog. 3-5 arter
Kustnära laguner (1150)	12	0,76	0,6
Stora vikar och sund (1160)	6	0,82	0,69

Klassning av vegetation och bar botten i mer exponerade kustområden av naturtypen "stora vikar och sund" (1160) i Västerbotten visade mycket hög noggrannhet (i medeltal 0,82), men igen något lägre om olika vegetationstyper separerades (0,69; Tabell 6). Dessa försök visar möjlighet att kunna skapa habitatskartor med dominerande vegetationstyp. De vegetationsklasser som testades motsvarar HUB-klasser (Helcom Underwater Biotope) på nivå 5 som även översatts till EUNIS-klasser. De resultat som uppnåddes var begränsad av mängden fältreferenspunkter. För att kunna klassa vegetationen på denna nivå kan ett större antal referenspunkter behövas än vad som rekommenderas ovan och i bilaga 1. Vidare är det viktigt att inkludera förekommande vegetationsklasser på ett bra sätt. Detta åstadkoms bäst genom att ta drönerfoton i förväg så att det kan användas för att planera arbetet i fält. Utifrån ortomosaiken kan provpunkter stratifieras och läggas ut för att täcka förekommande vegetationsklasser.

Mellanårsvariationen för vegetationsutbredning i fladerna var mycket hög. Mellan de tidigaste och senaste provpunkterna förändrades vegetationsytan med i genomsnitt 41% och en variationskoefficient (CV) på i medeltal 20% (Tabell 7), vilket är 4-6 gånger högre variation än för ålgräsängar under samma fyraårsperiod på Västkusten. Det bör dock anmärkas att variationen skiljer sig markant mellan olika flador och år, där exempelvis Sörfjärdens vegetationsyta ökar från 1,4 ha till 3,7 ha mellan 2018 och 2020 (en ökning på 164%). Vegetationen i naturtypen "stora vikar och sund" hade generellt en lägre variation än fladerna. De studerades dock endast under 2021-2022 och har därför uteslutits från resultaten som presenteras här.



Figur 11. Exempel på klassning av flera olika arter av akvatisk vegetation i en flada i Västerbottens län 2022. (a) Drönermosaikbild på fladan Ytteravan i området Kronören. (b) Klassning av alla akvatiska växter som vegetation (grön) och lerbotten utan vegetation (grå) från drönerbilderna, vilket gav en total noggrannhet på 0,88. (c) Klassning av olika typer av vegetation (nateängar, kransalgsängar, havsnajas och fintrådiga alger) som separata klasser, vilket gav en total noggrannhet på 0,52.

Tabell 7. Mellanårsvariation av vegetationsutbredning i Bottniska viken. Förändring har skattats med drönare och fältprovtagning för åren 2018-2021. De tre sista kolumnerna visar förändring (i hektar och % av den initiala vegetationsytan) från det första till det sista året, samt variationskoefficienten (CV), dvs. kvoten mellan standardavvikelsen (SD) och medelvärdet. Medelvärden av förändring baseras på absolutvärdena av lokalernas förändring.

Område	Lokal	2018 (ha)	2019 (ha)	2020 (ha)	2021 (ha)	Förändr. (ha)	Förändr. (%)	CV
Bäckfjärden	Bukten	3,6		3,7	4,3	0,7	19%	9,8%
Ratu	Halsskärsgraven	0,5	0,5		0,4	-0,1	-20%	12%
Ostnäs	Sörfjärden	1,4		4,4	3,7	2,3	164%	50%
Ostnäs	Norrkorsögern	3,6		2,3	4,2	0,6	17%	29%
Järnäs	Storbölessundet		3,9		4,9	1,0	26%	16%
Kronören	Ytteravan		6,6		6,5	-0,1	-2%	1,1%
Medelvärde						0,8	41,3%	19,6%

2.1.4. Kompletterande metoder med sonar

Ett delmål i uppdraget har varit att undersöka om sidescan sonar kan utgöra ett viktigt komplement till drönarprovtagningen, speciellt för att kartlägga djuputbredningen av ängar i områden med sämre vattenkvalitet. För detta ändamål har en liten frihängande, sidescan sonar av modellen Little Eye från Deepvision testats från båt för att kartlägga ålgräsängar i Bohuslän (Figur 12a). Kortfattat fungerar metoden så att en provtagning planeras i Deepvisions mjukvara där transekter läggs upp i en karta som sedan kan följas i realtid under provtagningen med systemets inbyggda GPS (Figur 12b). Kartläggningen av ängens djuputbredning genomförs med sidescan genom att köra med båten parallellt med djupkanten med överlappande transekter (ca 20 m mellanrum; Figur 12c).

Avslutningsvis körs båten fram och tillbaka över djupkanten för att samla in djupdata på djuputbredningen med instruments "downscan" funktion (Figur 12d). Insamlade data bearbetas sedan i mjukvaran som producerar en rektifierad kartbild av djupkanten med djuppunkter markerade (Figur 13). Se bilaga 8 för beskrivning av hur provtagning och bearbetning av data genomförs med Deepvisions system.

Metoden bedöms utgöra ett viktigt komplement till drönarmetoden för att kartlägga djuputbredningen av en äng i lokaler där siktdjupet medför att fjärranalys inte fungerar. Den kan även komplettera drönarmetoden i lokaler där det är problem att få med ängarnas djuputbredning i ortomosaiken för att de är långt från land och dess strukturer (se Figur 10).

a.



b. Planering av
side-scan transekter



c.

Side-scan mosaik



d.

Down-scan för djupdata



Figur 12. (a) Bild på sidescan systemet Little eye från Deepvision. Bilder från mjukvaran för (b) planering av transekter för fältprovtagning, (c) mosaik av transekten från sidescan data, och (d) insamling av botten djup med downscan data.



Figur 13. Exempel på kartläggning av djuputbredningen av två ålgräsängar vid Nordön i Hake-Älgöfjordsområdet i Västra Götalands län. Den inlagda förstörelsen visar djupdata insamlad med sonaren 2021 (röda punkter) samt insamlade med dropvideo 2020 och 2021 (gröna respektive blå punkter)

Sonarbilderna ger också en mycket detaljerad bild av hela djuputbredningen där små förändringar kan detekteras längs djupkanten mellan år, som kan vara svår att fånga med dropvideo som endast provtar i punkter. Provtagning med sonar kräver relativt lugna väderförhållanden då vågor som rullar båten försämrar mätningarna. Vidare är metoden relativt långsam då kartläggning blir bäst om den genomförs med under 2 knops fart. Den är därför mindre lämpad för provtagning av mycket stora lokaler. I områden där djuputbredningen tydligt kan ses och kartläggas med drönare kan samma information fås från drönanalys och i dessa områden är bidraget från kompletterande drönanalys begränsat och rekommenderas inte.

Jämförelse mellan provpunkter med dropvideo och sonarmätningar visar att resultaten överensstämmer mycket väl i de flesta fall (Figur 13). I vissa fall kan dock den lägre precisionen i sonarens GPS (om inte RTK-GPS kan nyttjas) ge en avvikelse mellan metoderna, och i medeltal gav sonarmetoden 25 cm lägre skattat djup än med dropvideoteknik (se bilaga 9 för detaljer).

2.1.5. Utveckling av teknik och metod samt manualer

Under den omfattande provtagningen i uppdraget har ny teknik och nya metoder kontinuerligt testats och utvärderats, bland annat via regelbundna workshops och interkalibreringsövningar i fält (se avsnitt 2.1.6), vilket lett till att arbetet effektiviserats och kvaliteten på data och resultatet höjts. Bland annat har drönare försedda med inbyggd RTK-GPS i huvudsak använts sedan 2022, vilket höjt precisionen i provtagningen och förenklat arbetet med att rektifiera ortomosaikerna. Vidare har nya och mer avancerade mjukvaror använts för konstruktion av ortomosaiker (Agisoft Metashape Pro) vilket lett till bättre bildkvalitet som förenklat bildanalysen med förhöjt noggrannheten i resultaten. Sedan 2020 används endast mjukvaran ArcGIS Pro vid klassningsarbetet.

På Västkusten har solblänk utgjort ett stort problem som försvårat provtagningen under en stor del av dagen, också vid goda väderförhållanden och begränsat drönarfotograferingen till tidiga mornar (Infantes m.fl. 2019). Under 2022 utvecklades metoder där drönbilden inte tas vinkelrätt mot vattenytan (nadir) utan med 75–80° vinkel mot vattenytan, och där flygningen programmeras så att drönaren aldrig vänder utan flyger med "ryggen" mot solen

under hela flygningen. Vidare användes manuell kameraexponering vilket drastisk minskade problem med olika exponering i ortomosaiken. Sammantaget medförde dessa tekniker att drönarfotograferingen kunde genomföras från tidig morgon till sen eftermiddag, vilket mer än fördubblade antalet lokaler som kunde fotograferas under en dag. Även arbetet med att ta referenspunkter i fält (ground truth-data) med vattenkikare och dropvideo utvecklades under 2022. I stället för att stanna båten och hänga över båtbanken med vattenkikare, eller sänka ned en dropvideo monterades en UV-kamera på en stång just under vattenytan i fören på båten där en livebild av botten kontinuerligt visades på en skärm för båtföraren under färd. Detta medförde att båten inte behöver stanna för att ta en referenspunkt, vilket effektiviserade arbetet avsevärt och medförde att de flesta lokaler kunde provtas med runt 50 referenspunkter på under en timme. Dessa förbättringar av teknik och metoder medförde att över 100 lokaler kunde karteras i Västerhavet under en sommarsäsong, trots ett begränsat antal dagar med goda väderförhållanden.

Under 2022 har även ett Esri Collector fältprotokoll tagits fram för en mer integrerad digital insamling av fältreferensdata. Länsstyrelserna på ostkusten har gemensamt nyttjat fältprotokollet i mobilt uppkopplade paddor som även kopplats ihop med RTK-GPS. Detta har fungerat väldigt bra och förenklat insamlingen samtidigt som precisionen ökat. Inmatade och positionsbestämda fältdata hamnar direkt i länsstyrelsernas servrar.

Vidare har de nya metoderna tillsammans med ovan nämnda teknikförbättringar lett till en högre bildkvalitet av ortomosaikerna som gjort bildanalyserna snabbare och bidragit till en högre noggrannhet under senare år (från i medeltal 0,80 2018 till 0,87 år 2021 i Västerhavet).

Framtagande av manualer för användare

Under 2021 och 2022 har en rad manualer, tekniska lathundar och protokoll tagits fram och utvärderats för att utveckla enhetliga och jämförbara metoder för alla landsdelar samt för att kunna sprida kunskapen till användare inom Länsstyrelser och upphandlade konsulter (se avsnitt 2.1.6).

För flygning av drönare för att kartlägga vegetation har en detaljerad manual tagits fram som också testats av olika användare (bilaga 1). Manualen beskriver i detalj vilka instrument och mjukvaror som behövs för programmering och flygning av dröna-

ren, samt bearbetning och analys av bilderna (dock ej hur klassningen genomförs vilket beskrivs i bilaga 7). Den beskriver också i detalj hur flygningen skall planeras, programmeras och genomföras, samt hur bilderna skall efterbehandlas för att nå optimalt resultat. Vidare diskuterar den hur väderförhållanden och tidpunkt på dagen kan påverka kvaliteten i bilderna och hur flygnings kan planeras och anpassas för att minska problem.

I drönarmanualen (bilaga 1) finns även instruktioner för insamling av fältreferenspunkter. Exempel och instruktioner för protokoll finns tillgängligt i två versioner anpassat för Östersjön och Bottniska viken (bilaga 2) samt Västerhavet (bilaga 3). Insamling av fältreferenspunkter kan med fördel kombineras med provtagning av älgräsängars maximala djuputbredning på platser där detta är relevant. Bilaga 4 beskriver tillvägagångssättet för detta och bilaga 5 innehåller exempel på protokoll för användning i fält.

För att underlätta arbetet med att ta fram ortomosaiker av bra kvalitet från drönarbilderna med mjukvaran Agisoft Metashape Pro, har instruktioner tagits fram som beskriver alla stegen i processen (bilaga 6). Som stöd för arbetet med att klassa vegetation i ortomosaiken med mjukvaran ArcGIS Pro har instruktioner tagits fram som beskriver alla stegen i processen (bilaga 7). Liknande instruktioner för satellitbildsklassningar i plattformen SAV Sweden ingår i bilaga 10.

Slutligen har även instruktioner tagits fram som skriver hur instrument och mjukvaror skall programmeras och användas för att använda Deepvisions sidescan sonar (Little eye) för att kartlägga framför allt djupkanter av vegetation (bilaga 8).

2.1.6. Spridning av kunskap till miljöförvaltare

En viktig del i uppdraget har varit att sprida kunskap om möjligheter med de nya fjärranalysmetoderna dels för att förbereda för en bredare användning av metoderna, dels för att efter behov förbättra och justera metoden genom att samla in och utvärdera resultat från olika användare. Informations- och utbildningsinsatser har i första hand riktats till länsstyrelserna med ansvar för den operativa tillämpningen av art- och habitatdirektivet, inklusive biogeografisk övervakning och förvaltning av marina skyddade områden. Flera konsulter har också upphandlats för att hjälpa till med delar av fältarbetet.

Genom att initiera en insamling av drönbilder och fältdata från olika lokaler runt Sveriges kust så har många länsstyrelser kommit att delta i metodtester och -utveckling. Totalt 11 län har i olika omfattning hjälpt till med uppdraget. Åtta av länen (länsstyrelserna i Norrbotten, Västernorrland, Gävleborg, Uppsala, Södermanland, Kalmar, Blekinge och Västra Götaland) har bidragit med egen fältinsamling av drönbilder och biologiska referensdata. Insamlingen har finansierats endera med finansiering av Länsstyrelsen Västerbotten eller med finansiering direkt från HaV. Tre av länen har medverkat aktivt i diskussioner eller vid kurstillfällen om metodik och utrustning (länsstyrelserna i Stockholm, Östergötland och Gotland). Medarbetare från Länsstyrelsen i Kalmar län och Gävleborgs län har medverkat under alla år.

Flertalet kurser eller seminarier har hållits för att sprida kunskap om metoden samt få feedback från övriga miljöförvaltare. Här följer ett urval av aktiviteter:

- 25 november 2021 hölls en presentation i Stockholm för marina naturskyddshandläggare från samtliga kustlänsstyrelser, ca 30 personer.
- 8 december 2021 anordnades ett fysiskt seminarium i Göteborg hos HaV, ca 15 pers.
- 28 januari 2022 hölls en workshop om satellitbaserad övervakning av grunda marina områden med cirka 20 deltagare från HaV, Artdatabanken, GU, länsstyrelser med flera
- 21 april 2022 genomförde Göteborgs universitet en interkalibreringsövning i fält där flygning med olika kameravinklar och exponering jämfördes vid olika ljus och väderförhållanden för att optimera flygmetoderna.
- Den 11 maj 2022 anordnade Länsstyrelsen Västerbotten en teoretisk kurs kring metodiken med drönarkörning och insamling av fältreferensdata. I kursen avhandlades allt från regelverk och rutiner, till lämplig utrustning och insamlingsmetodik. Drygt 30 personer från olika länsstyrelser längs hela kusten och från Göteborgs universitet
- Den 1 juni 2022 träffades fyra av fem kustlän från Bottniska viken i Umeå för en kalibreringsträff i fält. Elva personer deltog.
- Den 9 juni 2022 träffades sju deltagare från tre län i Nyköping för att träna sig på drönarfotografering och kalibrering i fält.
- Den 28 juni anordnade Göteborgs universitet en fältövningsdag vid Hakefjorden för personal vid Länsstyrelsen i Västra Götalands län för att träna



Figur 14. Bild från fältkalibreringsövning i Nyköping den 9 juni 2022.)

på metoder och teknik vid flygning med drönare och fältprovtagning av referenspunkter och djuputbredning av ålgräs med dropvideo.

- Den 1–2 augusti träffades tre län i Luleå för att testa metodik och förkovra sig kring artkännedom.
- Möten och kontakter med Artdatabanken, Naturvårdsverket och Metria har också nyttjats under senare delen av uppdraget för diskussioner om användningen av satellitdata.

De fysiska träffarna i fält i juni och augusti var mycket uppskattade och en tydlig slutsats är att det är viktigt att genomföra liknande kalibreringsövningar för att säkerställa jämförbara resultat.

På västkusten har ett aktivt utbyte även skett mellan personal från Göteborgs universitet och Länsstyrelsen i Västra Götaland. Länsstyrelsen i Västra Götaland har genom ett LOVA projekt kunnat bygga upp egen kompetens att samla in drönardata enligt framtagen metodik. Målsättningen med länsstyrelsens LOVA projekt var bland annat att genomföra en gedigen kartläggning av ålgräsängar i Västra Götaland. Göteborgs universitet har hjälpt till med fältarbete både för det nationella uppdraget och för LOVA projektet.

Den 6 december 2022 anordnade Länsstyrelsen Västerbotten ett slutseminarium om våra samlade kunskaper inom fjärranalys med hjälp av drönare och satelliter. På seminariet avhandlades bland annat metoder för drönarflygning och bildanalys, resultat från analyser av både drönar- och satellitbilder, samt framtidsutsikter och ny teknik.

Totalt deltog drygt 50 personer från 27 olika organisationer inklusive 12 länsstyrelser, tre universitet, tre nationella myndigheter och 9 konsulter. Representeranter från alla län som deltagit i utvecklingsarbetet var på plats och deltog i diskussionerna. Seminariet var mycket uppskattat bland deltagarna.

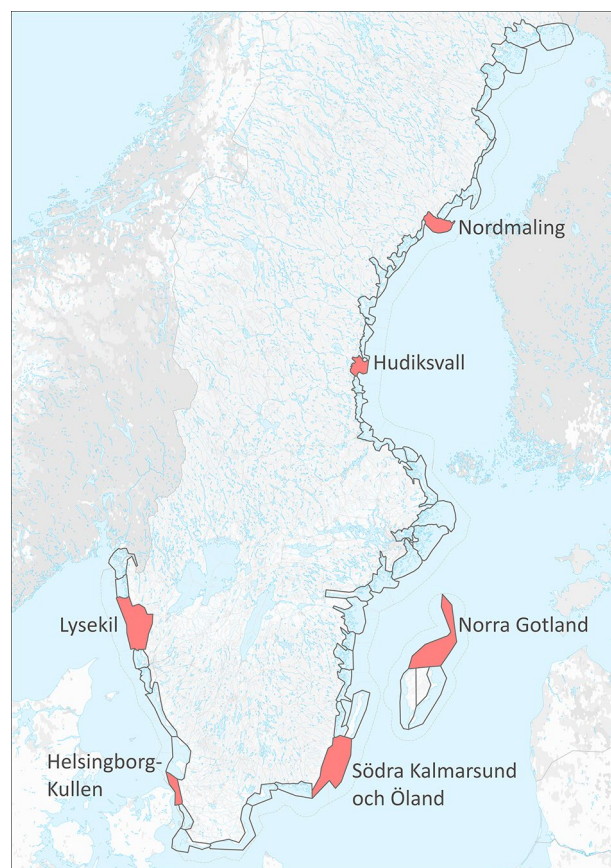
2.2. Utveckling av satellitmetoder för övervakning

2.2.1. Metodöversikt

Satellitbildsanalys inom uppdraget har utförts av flera utförare i plattformen "SAV Sweden". Plattformen utvecklades under 2020–2021 av DHI Sverige (EOatDHI, tidigare DHI Grass) på uppdrag av Länsstyrelsen Västerbotten i syfte att följa upp undervattensvegetation i Sveriges grunda kustmiljöer. Uppdraget till DHI innefattade, utöver utformningen av själva plattformen, även en nationell skattning av vegetationstäckning och vegetationsfri botten för 2019 (DHI Sverige 2021, Huber et al. 2021). Två hjälplager skapades för att möjliggöra denna typ av analys; en satellitbaserad batymetri och ett så kallat "feasibility-lager" där bottenreflektansen anses tillåta klassificering av botten. Feasibility-lagrets utformning medför att djupa (generellt djupare än ca 6 m, något grundare i Bottniska viken) eller mycket grunda (under ca 0,3 m) delar exkluderas från analysen. Detta gör att vegetation i dessa delar inte detekteras, men att kvaliteten av analysen som helhet höjs. Den totala analyserbara ytan är för närvarande drygt 3 800 km². Algoritmen för klassificering baseras på faktisk reflektans från botten, satellitbaserat djup, vågexponering, avstånd från land, samt olika derivat så kallade "convolutional layers" som beskriver bottenkomplexitet från närliggande pixlar. Klassificeringen är en inbyggd del av plattformen och använder en Light Gradient Boosting Machine (LGBM) (Huber et al. 2021). Satellitbilder från Sentinel-2 i Copernicus-programmet nyttjas som grund för analyserna, där den rumsliga upplösningen är 10 x 10 meter. För att optimera analyserna har Sveriges kustzon delats in i 54 regioner i plattformen baserat på lokala förhållanden samt Sentinel-2 satelliternas indelning i bildscener eller "tiles" (Figur 15).

2.2.2. Arbetsprocess för satellitbildsanalys

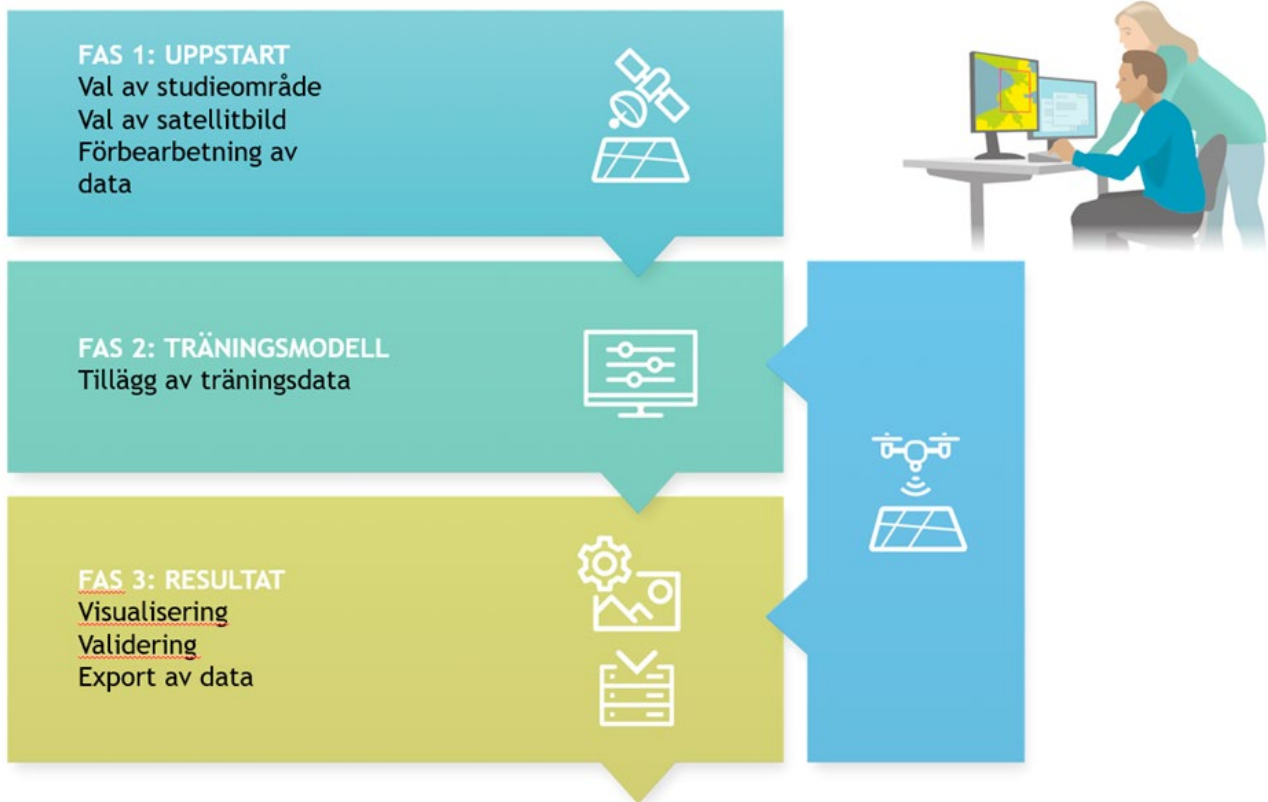
Satellitbildsanalysen följer tre steg eller faser (Figur 16). I steg 1 väljer utföraren en region att arbeta med och sedan en lämplig satellitbild från sommarsäsongen.



Figur 15. Kartan visar Sveriges kustzon indelad i SAV Sweden-plattformens 54 regioner. I sex regioner, markerade med röd färg, har flerårsanalyser utförts.

Den valda satellitbilden är idealt från sensommaren för att kunna uppskatta fullt utvecklad vegetation. Bilden behöver vara av god kvalitet med få solglimtar, nästan inga moln och ingen eller begränsad algblomning. Även höga vågor och vind påverkar bildanalysen negativt.

I steg 2 skapar utföraren sedan träningsytor i relevanta klasser eller biotoper (exempelvis vegetation, mjukbotten utan vegetation och hårbotten utan vegetation). Träningsytornas antal och härledning bestäms av utföraren. Ytorna baseras idealiskt på drönarbilder eller fältreferenspunkter, men även ortofoton från Lantmäteriet från samma år, lokalkännedom, eller andra inventeringsdata som finns att tillgå kan nyttjas. När träningsytor skapats klassar plattformen hela kustområdet inom feasibility-lagret.



Figur 16. Schematisk skiss över stegen i satellitbildsanalys av habitat i plattformen SAV Sweden. Drönardata nyttjas för träning av analysen eller för validering av resultatet..

I steg 3 visualiseras och granskas resultatet. Analysen kan därefter iterativt förbättras om detta är nödvändigt med hjälp av fler träningsytor som utföraren lägger in baserat på expertkunskap, vilket oftast är nödvändigt för att nå ett bra resultat. Analysen innehåller därför ett visst mått av subjektiv bedömning, på samma sätt som vid klassning av drönarfoton. Efter att den slutgiltiga habitatklassningen skapats kan dess noggrannhet skattas genom att ladda upp valideringsdata. Typen av valideringsdata väljs av utföraren, vilket kan inkludera klassningsdata som polygoner eller punkter från drönarbilder, fältreferenspunkter, polygoner från ortofoton från Lantmäteriet eller andra tillgängliga inventeringsdata från aktuell period. Plattformen skapar utifrån detta en så kallad förväxlingsmatris ("confusion matrix") för noggrannhetsskattning. Värden som anges i denna rapport inkluderar total noggrannhet (andelen korrekt klassade valideringspunkter), användar-noggrannhet ("user accuracy" eller typ 1-fel), samt producent-noggrannhet ("producer accuracy" eller typ 2-fel).

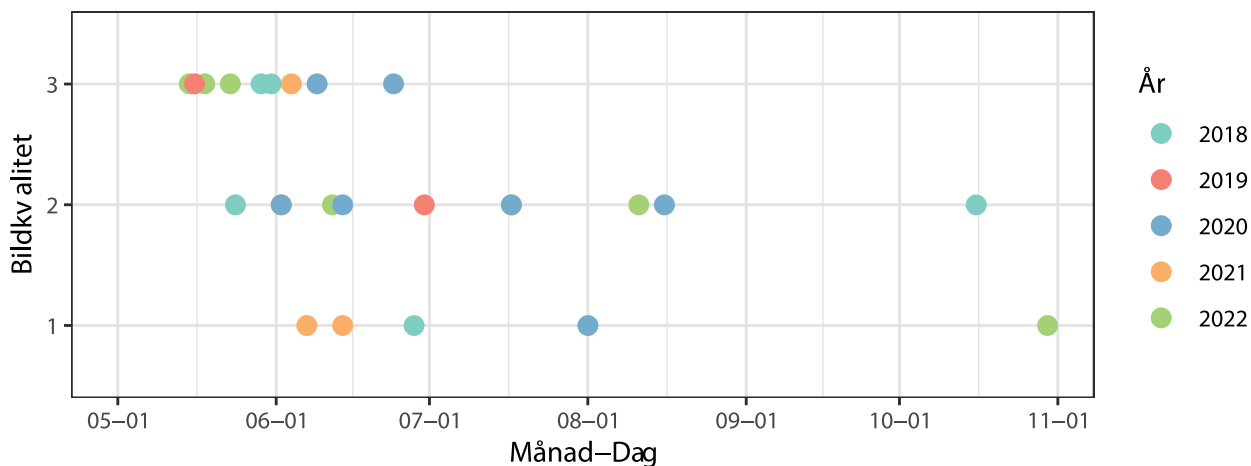
2.2.3. Utförande och resultat

Med hjälp av analys av satellitbilder i plattformen SAV Sweden har vegetationstäckningen skattats dels av DHI, dels av ett antal personer från medverkande länsstyrelser och Göteborgs universitet. DHI skapade en nationellt täckande modell för samtliga 54 regioner med satellitbilder från i huvudsak 2019 (DHI Sverige 2021, Huber et al. 2021). För utvärdering av metoden och analys av mellanårsvariation har sex representativa regioner analyserats närmare för åren 2018–2022 (Figur 15). Regionerna för närmare analys valdes utifrån tillgång på tränings- och valideringsdata och lokalkunskap från medverkande länsstyrelser och Göteborgs universitet.

Skattning av vegetationstäckning görs idealt när vegetationen är fullt utvecklad, vanligtvis från mitten av juli till mitten av september. Detta sammanfaller i många regioner med alblomningar och andra biologiska processer som minskar siktdjupet. I kombination med fysiska faktorer, som moln eller stormar, begränsar detta antal bilder som kan användas för analys.

Bildkvalitet under året

Norra Gotland



Figur 17. Bildkvalitet under relevant tid på året (maj-oktober) för region Norra Gotland. Bildkvaliteten inkluderar faktorer som moln, upprörda sediment eller algblomningar och är subjektivt skattad (3 = mycket bra, 2 = godtagbar, 1 = dålig). Datum där satellitbilden var uppenbart oanvändbar har uteslutits.

I regionen Norra Gotland finns exempelvis få användbara bilder efter juli månad (Figur 17). Detta har därför även påverkat mellanårsanalyser, där det varit svårt att konsekvent använda satellitbilder från samma tid på året i olika regioner (Figur 19).

Nationell analys av vegetationstäckning

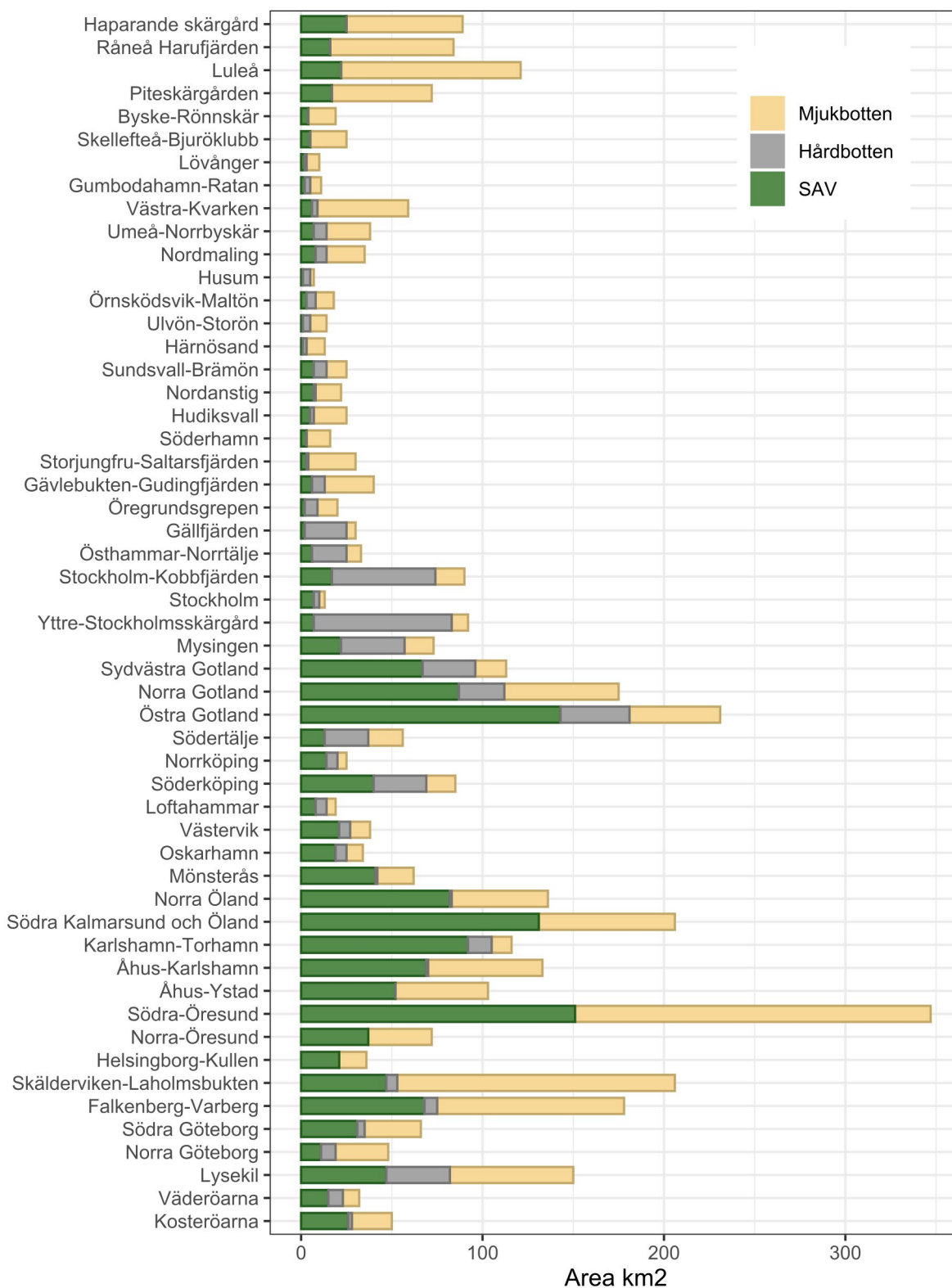
Den nationella analysen för samtliga 54 regioner representerar en total analyserad yta på 3820 km². Klassificeringen av botten innehåller habitatklasserna vegetationsklädd botten (SAV), mjukbotten utan vegetation (Sand) och hårbotten i huvudsak utan vegetation (Rock). För analysen skapades mer än 30,000 habitat- och substratpolygoner där 90% användes för träning och resterande för validering. Den interna noggrannheten för klassningen var hög, över 97% (Huber et al. 2021). Totalt 1550 km² eller 41% av den totala analyserade ytan klassificerades som vegetationsklädd botten, 1740 km² klassificerades som bar mjukbotten och 530 km² som hårbotten (Tabell 8).

Den region som hade minst andel vegetationsklädd botten var Ulvön-Storön med 5%, och högst andel Karlshamn-Torhamn i Blekinge med 79% (Figur 18). Regionen med störst vegetationsyta var Södra Öresund, 151 km², och den med minst var region Husum, 6 km². Den relativa och faktiska ytan vegetationstäckt botten var större i egentliga Östersjön (51%, ~790 km²) och Västerhavet (43%, ~570 km²) jämfört med Bottniska viken (17%, ~170 km²) (Figur 18).

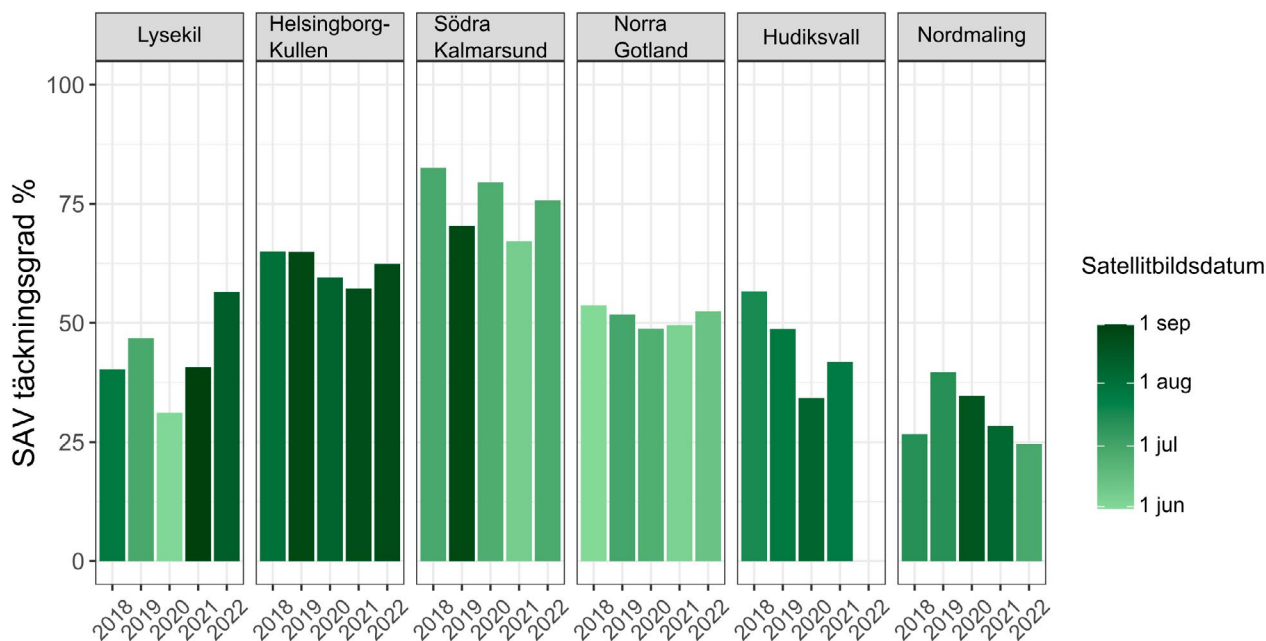
Tabell 8. Fördelning för hela Sverige av de olika habitatklasserna från analys av satellitbilder från 2019 inom feasibility-lagret.

	Area km ²	Andel %
Vegetationsklädd botten	1550	41
Bar mjukbotten	1740	45
Bar hårbotten	530	14

Fortsatta analyser av den nationella klassificeringen behövs för att skapa förståelse för vilka faktorer som påverkar areal av vegetationsklädd botten på denna skala. Givetvis påverkas resultaten av tillgången på lämpligt substrat, där exempelvis djupet inom regionerna Ulvön-Storön och Härnösand i Höga Kusten kan förklara den låga vegetationstäckningen. Även en generell näringsstatus kan inverka. I korthet illustrerar resultaten möjligheten att konkret skatta vegetationstäckning på stora arealer och på så sätt skapa en ögonblicksbild för kustområden i hela Sverige.



Figur 18. Yta klassad som vegetationsklädd botten (SAV; grön stapel), bar mjukbotten (beige), samt bar hårdbottn (grå) inom 54 satellitbilsregioner, från Haparanda skärgård i Bottenviken till Kosteröarna i norra Bohuslän från den nationellt täckande analysen för 2019.



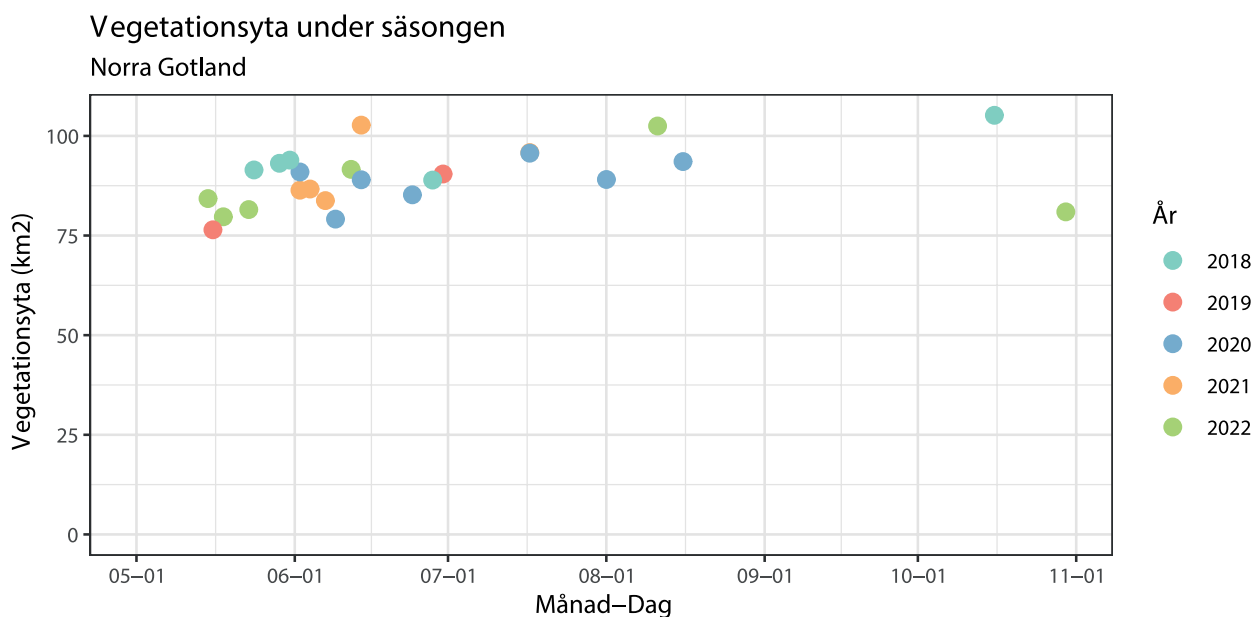
Figur 19. Vegetationstäckningsgrad inom sex utvalda regioner, där en enskild klassning valts för varje år. På grund av begränsningar i tillgång på högkvalitativa satellitbilder har inte samma period under tillväxtsäsongen kunnat analyseras i alla regioner. Färgkodningen representerar datumet för den satellitbild som använts för klassningen.

Variation över tid

Sex representativa regioner valdes ut för fortsatt arbete med fokus på metodutvärdering och variation över olika tidsskalor. De utvalda regionerna var Lysekil, Helsingborg-Kullen, Södra Kalmarsund-Öland, Norra Gotland, Hudiksvall och Nordmaling (Figur 15). Klassningarna skapades av utförare med lokalkunskap för respektive region. Metoderna för utplacering av träningsytor och validering varierade mellan regionerna beroende på tillgång till dataunderlag. Ur ett flerårsperspektiv skiljde sig variationen mellan regioner, där bland annat Lysekil uppvisade relativt hög variation medan Norra Gotland var mer stabilt. Den höga variationen i Lysekil beror möjligen på variation av mängden drivande algmattor mellan olika år (se avsnitt 2.2.4).

Liknande flerårsanalyser kan även göras på mindre rumsliga skalor, så som utvalda fjärdar, vattenförekomster eller enskilda vikar. Detta kan komma att undersökas vidare i ett fortsatt arbete.

I de fall då flera satellitbilder av hög kvalitet finns att tillgå för ett enskilt år kan även variation under kortare tidsperioder studeras. Detta gjordes i preliminära analyser för regionen Norra Gotland (Figur 20). I detta exempel syns inga tydliga trender under säsongen, och eftersom bildkvaliteten (Figur 17) varierat mellan olika klassningar kan inga slutsatser dras i nuläget. Algblomningar och upprörda sediment var vanliga i regionen vilket begränsat antalet användbara bilder inom enskilda år. Det är dock troligt att metoden med fördel kan användas för att skatta utvecklingen av vegetation under året för regioner då ett flertal högkvalitativa satellitbilder är tillgängliga.



Figur 20. Sammanställning av vegetationsyta (km²) i region Norra Gotland under tillväxtperioden, där bilder av mycket hög eller godtagbar kvalitet (se Figur 17) använts för åren 2018–2022.

I korthet ger satellitbildsanalys möjlighet att skatta och följa upp vegetationstäckning på olika skalor, både rumsliga och tidsmässiga. Tillgängligheten av högkvalitativa bilder är den främsta begränsande faktorn i denna typ av analyser, och detta skiljer sig mellan olika platser.

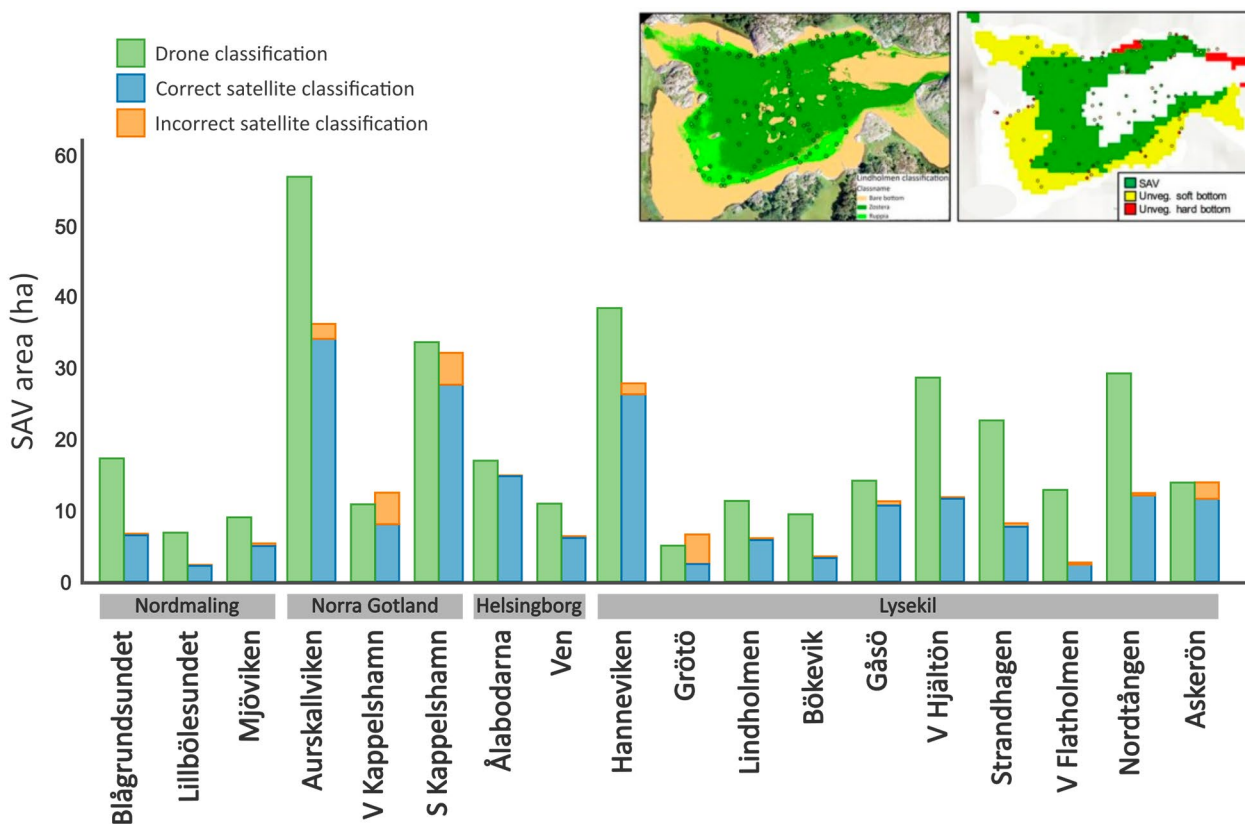
2.2.4. Utvärdering av noggrannhet och precision

Inledande analyser visar att satellitbaserad klassning av vegetation på mjuk- och hårdbotten uppnår relativt god noggrannhet i Västerhavet och Egentliga Östersjön (92 respektive 68%) och något lägre noggrannhet i Bottniska viken (58%). Dessa värden är i huvudsak baserade på valideringsdata från flerårig vegetation i grunda vikar med mjuk botten. Noggrannheten i exempelvis djupare områden med större andel bar botten är därför mindre känd.

De kostnadseffektiva fördelarna med en storskalig satellitbildsanalys medför också vissa utmaningar då det är svårt att optimera analysen för ett stort antal områden med olika förhållanden. Inledande analyser av samma region under samma tidsperiod indikerar att aktuell analysmetod genererar en variation på ca 11% av medelvärdet vilket begränsar möjligheten att detektera sanna, framför allt små, förändringar (Lindegart & Bergström 2022, opubl. data). En annan begränsning med aktuell satellitmetod är att analysen inte inkluderar de djupare delarna

av vegetationens utbredning, som exkluderas genom feasibility-lagret för att höja noggrannheten. En utmaning för den satellitbaserad övervakningen av flerårig, fastsittande vegetation är vidare svårigheten att separera fastsittande vegetation från drivande algmattor om bara en bild analyseras. Lösningar för dessa utmaningar diskuteras och pågående tester presenteras djupare i kapitel 2.3 och 3. Nedan följer en mer detaljerad beskrivning av resultaten.

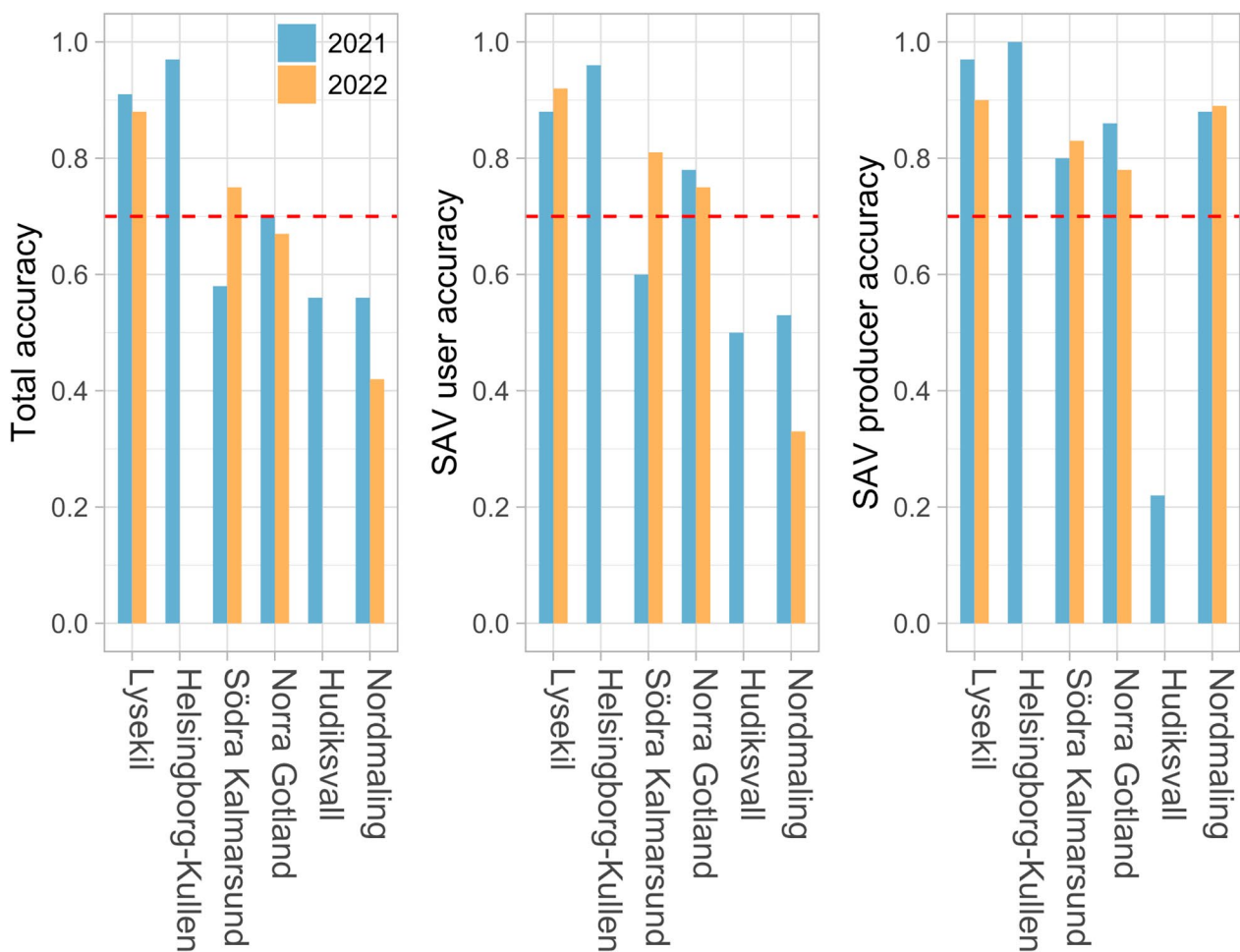
I en inledande utvärdering av noggrannhet och precision i DHIs nationella klassning av vegetation 2019 användes oberoende drönarbaserade valideringsdata på i huvudsak flerårig mjukbottensvegetation från Bohuslän, Kalmarsund och Västerbotten (Huber m.fl. 2021). Denna analys visade relativt hög total noggrannhet (i medeltal 0,60-0,77 i de tre havsområdena). Jämförelsen med drönarklassningen av flerårig vegetation visade dock att satellitklassningen tenderar att underskatta vegetationsarean. I region Lysekil underskattades vegetationsarean med i medeltal 51%, i huvudsak på grund av att de djupare delarna av ängarna exkluderas från feasibility-lagret (Figur 21). För övriga undersökta regioner – Nordmaling, Norra Gotland och Helsingborg-Kullen – exkluderas istället generellt mycket grunda områden från feasibility-lagret. I dessa regioner underskattades vegetationsarean med 54%, 8%, respektive 27%. Inom analyserat område var dock noggrannheten generellt god med få felklassningar (Figur 21; Huber m.fl. 2021).



Figur 21. Grafen visar en jämförelse mellan skattad vegetationsarea med drönbild (gröna staplar) samt korrekt skattad area (blå) och inkorrekt skattad area (orange) med satellitbilder (delvis från Huber m.fl. 2021). Det inlagda kartexemplet visar skillnaden mellan vegetationsklassning med drönbild (t.v.) och satellitbild (t.h.) från lokalen Lindholmen i region Lysekil 2019. Noterbart är det djupare område (3-5 m) med ålgräs som exkluderas från satellitbildens feasibility-lager.

Fortsatt arbete med att utvärdera satellitbildsanalysen i fler havsområden (totalt 6 regioner) och år (2021 och 2022) där i huvudsak drönbaserade vegetationspolygoner och fältinventeringsdata används för validering visar på fortsatt relativt hög total noggrannhet, i medeltal $0,72 \pm 0,18$ (från 0,42 till 0,97; Figur 22). Noggrannheten är generellt högre i Västerhavet (i medeltal 92%, $n=3$ klassningar) än i Egentliga Östersjön (68%, $n=2$) och i Bottniska viken (58%, $n=4$). Denna skillnad mellan havsområdena beror sannolikt på skillnader i fysiska och biologiska förhållanden. Havsvattnet och bottenarna i Bottniska viken påverkas exempelvis av skogsälvarna och har en brunare färg, vilket minskar kontrasten mellan vegetationen och botten och möjligheten att klassa biotoperna korrekt.

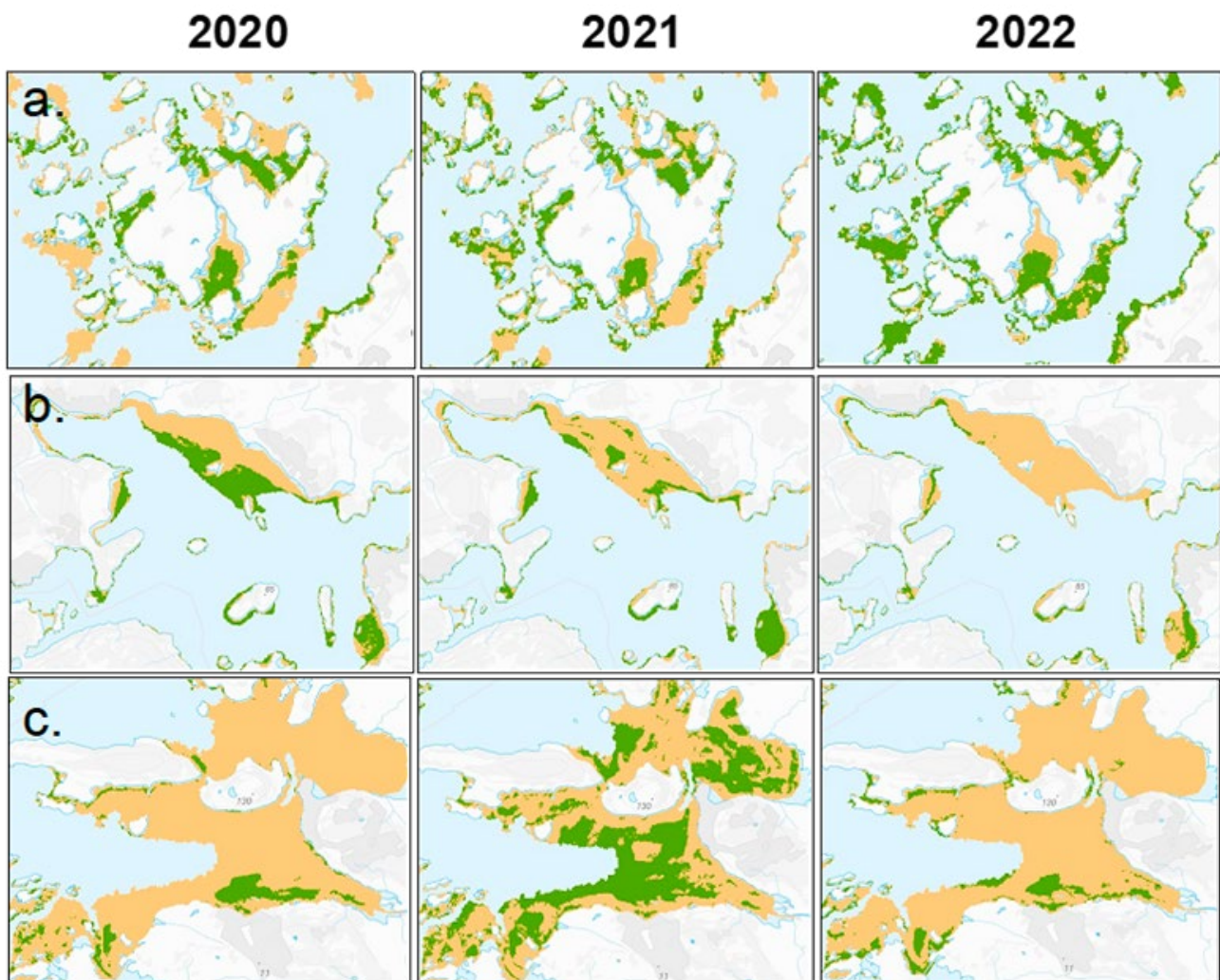
Lokala och regionala algbloomingar som ofta förekommer i Egentliga Östersjön under den relevanta tidsperioden kan på liknande sätt påverka både vegetationssamhället i sig och satellitbildsanalysen. Ytterligare finns också en viss variation i tillgång på tränings- och valideringsdata mellan de olika utförarna som kan ha bidragit till skillnader mellan regionerna. Skillnaden i noggrannhet mellan regioner var mindre för drönmeteroden som nådde en jämförbar hög total noggrannhet i Västerbotten i Bottniska viken (i medeltal 0,77) som i Kalmarsund i Egentliga Östersjön (0,80; Figur 6), vilket indikerar att drönmeteroden är något mindre känslig för fysiska och biologiska skillnader mellan havsområdena.



Figur 22. Sammanställning av (t.v.) total noggrannhet, (mitten) användar-noggrannhet för vegetation och (t.h.) producent-noggrannhet för vegetation inom sex regioner (se Figur 15 för karta) under två år (2021-2022) där valideringsdata var tillgängligt.

Det är viktigt att poängtera att resultaten från satellitbilsanalyserna inte är direkt jämförbara med drönarklassningarna eftersom endast vegetation på mjukbotten inkluderades i drönarbilden där flerårig fastsittande vegetation separerades från exempelvis drivande algmattor. I motsats ingick alla typer av vegetation i klassen SAV i satellitbilsanalysen, även större vegetation på hårbotten samt drivande mattor av fintrådiga och fleråriga alger. Det medför att en potentiellt stor andel av den kartlagda vegetationen består av kortlivade algmattor som kan blomma upp och försvinna, samt flytta på sig med väder och vind. En detaljerad kvalitativ analys av vegetationsklassningar från satellitbilsanalyser visar på mycket stor variation i vegetationsutbredning mellan åren inom grunda, mjukområden som vid fältbesök inte uppvisat flerårig vegetation, men varierande grad av drivande algmattor (Figur 23).

Variation i algmattors utbredning utgör en utmaning för satellitbaserad övervakning av flerårig fastsittande vegetation (som ofta är fokus i miljöövervakningen då de representerar höga naturvärden) då variation i algmattor kan dölja förändringar i utbredning av flerårig vegetation. Den relativt stora årsvariation som indikeras inom havsområden i inledande analyser (Figur 19), och som inte stöds av drönarbaserade skattningar av mellanårsvariation av ålgräsängar i t.ex. Västerhavet (se avsnitt 2.1.3) indikerar att den till stor del beror på variation i algmattors utbredning. Att kunna separera algmattor från flerårig vegetation på mjukbotten utgör därför ett viktigt steg i utveckling och användning av satellitdata för övervakning av vegetationsutbredning (se avsnitt 2.3).



Figur 23. Exempel på mellansårsvariation i tre mindre områden som alla ingår i region Lysekil i Bohuslän 2020-2021 vid (a) Gåsö vid Gullmarsfjorden, (b) Havstensfjorden samt (c) Älgöfjorden. Vid Gåsö ses variation i vegetationsutbredning främst på hårbotten. Vid Havstensfjorden och Älgöfjorden ses variation i vegetationsutbredning i huvudsak på grunda mjukbottensområden som till största del saknar fastsittande vegetation idag..

2.3. Förbättringsmöjligheter

De senaste årens studier visar mycket lovande resultat för att använda både drönarbilder och satellitbilder för övervakning av areella utbredning av vegetation längs Sveriges kuster. Drönarbildsanalys med en upplösning på cirka 1 m² och satellitbildsanalys på cirka 1 000 m². Studierna har också identifierat ett antal utmaningar, framför allt inom satellitmetoden som begränsar att underlagen kan användas fullt ut. Nya, men ej fullt ut granskade resultat indikerar dock på flera potentiella lösningar för dessa utmaningar, vilka diskuteras nedan.

2.3.1. Drönare

Även om teknik och metoder för att kartera undervattensvegetation med drönare har utvecklats fort de senaste åren med betydande framsteg främst inom flygning och fältinsamling samt efterbearbetning av bilderna så finns det fortfarande utvecklingsmöjligheter. Detta gäller kanske främst analysarbetet med att klassificera bottentyper i ortomosaikerna, men också när det gäller att tolka förändringar i vegetationens utbredning, artsammansättning och kvalitet i förhållande till olika påverkanstyper.

Utveckling av automatiserade bildanalyser

Även om kvalitet och noggrannheten har förbättrats i klassningen de senaste åren så involverar de fortfarande många arbetskrävande moment per bild vilket gör analyserna kostsamma (en till två arbetsdagar per bildanalys). Eftersom en separat klassning krävs för varje lokal utgör bildanalysen en stor andel av den totala kostnaden i drönarmetoden. Vidare så krävs idag en betydande expertbedömning under klassningen av vegetationstyperna där nya träningsdata placeras i bilden för att iterera fram en klassning av hög kvalitet. Detta ställer krav på träning och interkalibrering mellan olika utförare för att försäkra att analyserna utförs på samma sätt och uppnår liknande kvalitet.

Det finns därför utrymme för att effektivisera och öka automatiseringen i analysen av drönarbilder. Detta gäller även analysen av satellitbilder som lider av samma begränsningar gällande expertbedömning. Eftersom utvecklingen av AI i bland annat bildanalys går mycket snabbt just nu är sannolikheten stor att nya algoritmer och mjukvara snart är tillgänglig som kan förbättra dessa delar av analysen. Bland annat pågår mindre försök med AI verktyg i ArcGIS Pro för att automatiskt identifiera stora stenar och block som kunde exkluderas i en förbehandling

av drönarbilderna. Fortsatt utvecklingsarbete bör därför bevaka utvecklingen inom detta område för att snabbt kunna inkorporera nya framsteg. Sannolikt kommer denna del av arbete att utvecklas snabbt inom en snar framtid. En utveckling av metoderna kan också öka möjligheten att separera olika arter av vegetation i analysen, vilket skulle öka information som fås ut från bildanalyserna.

Tolkning av förändringar i vegetationsutbredning och kvalitet

Övervakning av vegetationens areella utbredning är i sin linda och det finns en generell brist på vetenskapliga studier som undersöker samband mellan vegetationsutbredning och olika typer av påverkan (Artdatabanken opubl.). Detta kan exempelvis handla om förlust eller fragmentering av vegetation i samband med klimatförändringar eller båttrafik. Vidare saknas det generellt indikatorer och bedömningsgrunder för grunda mjukbottensområden för statusklassning enligt olika EU direktiv varför det är oklart hur olika variabler som kan insamlas vid drönarmetodens fältprovtagning (t.ex. artsammansättning av fleråriga växter, djuputbredning och bladhöjd, täckningsgraden av fintrådiga alger) kan användas för att indikera påverkan och status. Det behövs därför kompletterande studier som använder det relativt stora material av drönardata som insamlats de senaste 5 åren och analyserar dessa i förhållande till olika påverkanstryck för att finna samband som kan användas för att utveckla bedömningsgrunder och sätta gränsvärden.

2.3.2. Satellit

Fastsittande vegetation på mjukbotten som t.ex. ängar av ålgräs, natingar, naten, slingor och kransalger har höga naturvärden och ett huvudmål med satellitmetoden är att kunna övervaka förändringar av dessa värdefulla miljöer över tid. Aktuell teknik för att klassa denna typ vegetation har dock tre begränsningar som behöver lösas innan satellitmetoden når sin fulla potential (se avsnitt 2.2.4 för detaljer): (1) stor inneboende variation i metoden beroende på variation i bildkvalitet och miljöförhållanden, (2) oförmåga att separera fastsittande vegetation från lösdrivande alger, samt (3) ett konservativt feasibility-lager som exkluderar en betydande andel av vegetationen.

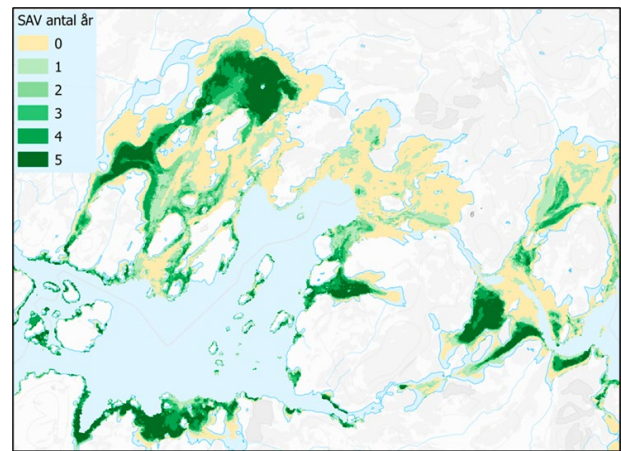
Flerbildsanalys för att separera olika typer av vegetation

De två första begränsningar gör det svårt att detektera förändringar av fastsittande vegetation på mjukbotten då denna döljs i variation orsakad av felklassningar och/eller av variation i utbredning av drivande algmattor. En möjlig lösning för att identifiera variation orsakad av dessa källor och separera lösdrivande alger från fastsittande vegetation är att inkludera ett större antal satellitbilder från samma region i en gemensam analys. Eftersom drönarresultaten visar att fastsittande vegetation har en relativt stabil utbredning från år till år i de flesta landsdelar (se avsnitt 2.1.3) kommer utbredning av dessa visas som stabila ytor över tid medan drivande algmattor och ytor som felklassas p.g.a. t.ex. varierande vattenkvalitet kommer att visa stor variation över tid (Figur 24).

Denna typ av flerbildsanalys ger en skattning på sannolikheten att ett klassad vegetationsområde hyser fastsittande vegetation, där stabila polygoner som ändras efter en period kan indikera verkliga förändringar i utbredningen av fastsittande vegetation. Metoden behöver ännu utvärderas genom att jämföra stabila vegetationspolygoner från satellitbildsanalysen med områden som kartlagts med drönar metoder. Om tillgången på satellitbilder av bra kvalitet tillåter, kan en analys av säsongsvariation i vegetationsutbredning hjälpa till att separera olika typer av vegetation, eftersom t.ex. fleråriga blomm växter, kransalger och fintrådiga algmattor förväntas ha olika säsongsdynamik. Över tid kan samtliga större stabila polygoner som identifieras med satellitmetoden karteras i fält för att fastställa vegetationstypen. Om satellitanalysen indikerar att tidigare stabil vegetationsutbredning ändrats, bör detta föranleda ett fältbesök för att bekräfta om det t.ex. skett en förlust av fastsittande vegetation. Den föreslagna flerbildsanalysen förutsätter satellitbilder av god kvalitet kan hittas under samma del av tillväxtsäsongen under flera år. Initiala tester för Norra Gotland (Figur 17) och andra regioner har visat att detta kan vara en utmaning, men över tid kan ett kartotek över stabila polygoner byggas upp som kan förbättra möjligheterna att övervaka förändringar i utbredningen av fastsittande vegetation med satellitmetoden.

Insamling av representativ tränings- och valideringsdata

Ovan presenterade noggrannhetsberäkningar är i huvudsak baserad på valideringsdata från mjukbottensområden med fastsittande vegetation (ofta

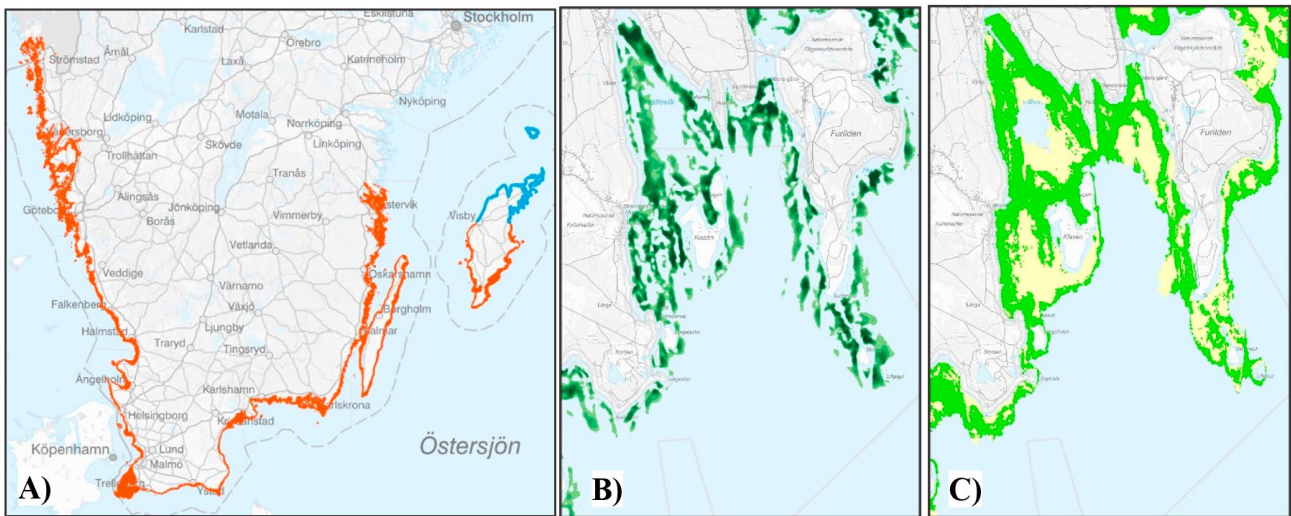


Figur 24. Flerårsanalys (2018-2022) från Stigfjorden och Askeröfjorden inom region Lysekil i Bohuslän. Mörkgröna ytor har klassats som vegetation alla 5 år och dess utbredning stämmer relativt väl överens med utbredning av ålgräsängar i området (som karterats med drönar metoder; Moksnes opubl. data). Ljusgröna ytor har endast klassats som vegetation enskilda år och utgör sannolikt lösdrivande algmattor, eller felklassningar orsakad av t.ex. varierande vattenkvalitet. Möjligen kan information om områden med väldigt mycket variation i själva verket peka på en kraftig påverkan eller dålig status för området..

med höga naturvärden och god sikt), som ingått i drönarstudierna. Tränings och valideringsdata från hårbottensmiljöer och från större mjukbottensområden utan fastsittande vegetation är därför starkt underrepresenterade i analysen. Denna brist bör därför åtgärdas genom att samla in referensdata i fält också från dessa miljöer i det fortsatta arbetet för att förbättra både klassningen och bedömningen av noggrannheten i klassningen från dessa miljöer.

Utveckling av analysens areella avgränsning

Satellitplattformens s.k. feasibility-lager eller mask är konservativ och exkluderar 8-54% av vegetationens totala utbredning (se avsnitt 2.2.4), och då framför allt de djupaste samt allra grundaste strandnära delarna. Detta är en begränsning i metoden då det exkluderar en betydande andel av arternas totala utbredning från övervakning, och just den del som kanske svarar snabbast på försämringar i vattenkvalitet i form av grumling och övergödning. På västkusten tycks t.ex. ålgräs som växer djupare än cirka 3,0 m exkluderas från analysen. Eftersom tidigare satellitbildsanalys från västkusten karterat ålgräs ned till 6 m (Envall 2012) bör det finnas möjlighet att förbättra feasibility-lagret för att inkludera större djup. Satellitbilder av god kvalitet över flera år bör



Figur 25. A) Rött område användes för att träna modellen och blått område för validering. B) Resultat från Sogetis Deep Learning-modell applicerad på satellitbild från 2022-05-15, med SAV-klassad botten i grön färg. C) Resultat från analys i SAV Sweden-plattformen för samma satellitbild som panel B, med SAV (grönt) och bar botten (gult).

inkluderas i ett förbättringsarbete tillsammans med tillgängliga data på vegetationen djuputbredning i olika kustområden, t.ex. den omfattande övervakningen av ålgräset djuputredning i Västerhavet (Lindegart & Bergström, opubl. data) och andra transekt- eller sonardata från olika delar av Östersjön. Med hjälp av denna data kan möjligheter finnas att anpassa feasibility-lagret för vegetationens djuputbredning i olika kustvattenförekomster och vattentyper. Det bör dock noga följas upp hur denna eventuella utveckling påverkar noggrannheten i klassningarna då inledande studier indikerar att den minskar med djupet.

Test av artificiell intelligens för analys av satellitbilder

För att testa och utvärdera möjligheterna med artificiell intelligens och särskilt Deep Learning (DL) modeller anlätades konsultbolaget Sogeti. Testet utfördes som en begränsad analys, en så kallad Proof of Concept för att undersöka potentialen med metodiken. Målet var att testa hur väl en tränad DL-modell skulle kunna identifiera vegetationsklädd botten (SAV) från andra satellitbilder än de den var tränad för, dvs extrapolera sin "kunskap" till andra regioner eller år. Modellen tränades med hjälp av satellitbilder och träningsdata från 2019 som var del av den riktäckande analysen (Figur 25a). Den valda modellen var en enkel semantisk segmenteringsmodell som kallas U-Net. Den tränade modellen användes för att klassificera SAV för Norra Gotland år 2019, samt ytterligare fyra regioner år 2022 (Koster, Lysekil, Helsingborg-Kullen, och Södra Kalmarsund-Öland).

Preliminär utvärdering av resultatet gjordes för region Norra Gotland 2022 (blått område i Figur 25A). Den totala noggrannheten för DL-modellen var 0,70, vilket kan jämföras med 0,80 från våra egna analyser med hjälp av SAV Sweden-plattformen (Figur 25B).

DL-modellen tränades med "råa" satellitbilder, vilket innebär att det inte genomfördes korrigeringar med avseende på vattenegenskaper, solglimtar och moln. För att förbättra resultatet rekommenderar Sogeti bland annat användning av en större mängd träningsdata (tillgängligt data ansågs vara otillräckligt för DL-modellen) samt multitemporala satellitdata, dvs längre tidserier där SAV med stabilare utbredning identifieras (Figur 24). Testet visade ändå på en stor potential i nyttjande av deep learning-metoder för framtida analyser av vegetation från satellitbilder. Utvecklingen kommer säkerligen att kunna gå i den riktningen.

3. Utveckling av övervakningsprogram

3.1. Kombinerad övervakning för flera behov

Som diskuterats i avsnitt 1.1.1 utgör information av olika livsmiljöer utbredning i naturen själva grunden för att förstå bottenlevande växter och djurs ekologi, varför kunskapen är helt avgörande för en effektiv förvaltning av marina livsmiljöer och dess biodiversitet. Då den areella utbredningen av värdefulla livsmiljöer oftast korrelerar med hög biologisk mångfald och viktiga ekosystemtjänster utgör miljöernas utbredning och dess förändring över tid central information för att bedöma naturvärden och status på ett område. Eftersom den areella utbredningen också kan svara på olika typer av påverkan kan dess övervakning ge viktig information för olika typer av åtgärder.

Övervakning av areell vegetationsutbredning i grunda marina områden kan därför ge värdefull information för många olika behov inom miljöförvaltningen. Genom att satellitmetoden täcker hela Sveriges kustvatten, och drönarmetoden inkluderar flera hundra lokaler fördelade i alla havsområden tillåter underlaget att data uppdelas i valfria delområden i t.ex. olika naturtyper, kustvattentyper, kustvattenförekommster eller i skyddade områden, för att möta behov av data från olika EU-direktiv eller för uppföljning av skyddade områden. Tillsammans med kompletterande information på vegetationens kvalitet kan rikstäckande data på vegetationens utbredning t.ex. möjliggöra statusklassning av bevarandestatus för flera olika naturtyper enligt art- och habitatdirektivet. På ett liknande sätt kan vegetationens areella utbredning utgöra en viktig indikator för statusbedömning av kriterium D6C4 (förlust av livsmiljötyp) enligt havsmiljödirektivet, eller som biologisk kvalitetsfaktor för bedömning av ekologisk status enligt ramdirektivet för vatten. Vidare kan ett övervakningsprogram av vegetationsutbredning bidra till att möta de krav som ställs på att mäta och följa upp mål om förbättringar av utpekade livsmiljöers areella utbredning i den förväntade förordningen om restaurering av natur (Klimat och näringslivsdepartementet M2022/01470).

En storskalig, rikstäckande övervakning av marin vegetation med satellitbilder som kombineras med högupplösta drönarbilder och fältbaserade provtagning i utvalda, mindre, lokaler kan tillsammans utgöra grunden för ett nationellt övervakningsprogram som möter dessa behov. Nedan i avsnitt 3.2 beskrivs hur ett sådant program skulle kunna utformas, och i avsnitt 3.3 ges ett förslag på hur data på areell vegetationsutbredning skulle kunna kombineras med annat underlag för att bedöma bevarandestatus för olika naturtyper enligt art- och habitatdirektivet.

3.2. Förslag till nationellt övervakningsprogram

Fokus i det föreslagna övervakningsprogrammet är flerårig, fastsittande vegetation på mjukbotten (gömfriiga växter och kransalger) på grund av deras höga naturvärden och då grunda mjukbottnar saknar nationell miljöövervakning idag. Som framgått i rapporten har satellit- och drönarmetoder olika styrkor och begränsningar. Som kombinerad metod ges dock möjligheten att både detektera små förändringar i utbredning med hög noggrannhet, och samtidigt ge underlag för en rikstäckande övervakning.

I förslaget används högupplösta drönarbilder och fältprovtagning med dropvideo eller vattenkikare för att detektera förändringar i vegetationens utbredning och kvalitet med hög precision och noggrannhet i mindre områden. Dessa lokaler är noga utvalda för att representera de natur- och livsmiljötyper som ska övervakas, och återbesöks minst två gånger per förvaltningscykel. Satellitmetoden används inledningsvis för att välja ut dessa, samt för att skatta den totala utbredningen och kvaliteten av berörda livsmiljö- och naturtyper. Satellitbildsanalysen genomförs minst en gång per år för hela den svenska kusten och kan därför detektera förändringar i utbredning utanför utvalda områden som kan initiera nya fältprovtagningar och bedömningar.

I ett första inledande steg används det rikstäckande satellitdatat på vegetation i en flerårig analys 2018-2022 där många satellitbilder används för att identifiera stabila vegetationspolygoner som sannolikt representerar fastsittande vegetation (se avsnitt 2.3.1). Utifrån detta underlag, genomförda drönarinventeringar, samt andra inventeringsdata på gömfröiga växter och kransalger väljs representativa lokaler ut för provtagning med drönare och dropvideo som täcker alla 54 regioner i satellitanalysplattformen SAV Sweden. Dessa lokaler väljs också för att representera förekommande naturtyper enligt art- och habitatdirektivet och livsmiljötyper utpekade i kommissionens förordning om restaurering av natur (M2022/01470), samt för att inkludera alla relevanta kustvattentyper. Vidare väljs lokaler i både opåverkade och påverkade områden (t.ex. från fysisk påverkan) så att de är representativa för de områden som ska bedömas. Inom detta projekt har över 250 lokaler provtagits med drönare och dropvideo eller vattenkikare inom 35 områden från Luleå i Bottenviken till Koster i norra Bohuslän (Figur 2, Tabell 2-4) och dessa kan utgöra basen för att välja ut ca 200 lokaler som kan ingå i övervakningsdelen med drönare och dropvideo eller vattenkikare. För att göra fältprovtagningen effektiv så föreslås lokalerna vara samlade i kluster om 3-4 närliggande lokaler.

Dessa lokaler besöks för provtagning med drönare och dropvideo eller vattenkikare var annat eller vart tredje år i ett rullande schema så att varje lokal provtas minst två gånger per förvaltningscykel. Vid varje besök beräknas den areella utbredningen av flerårig fastsittande vegetation inom ett bestämt bedömningsområde så att eventuella förändringar i utbredning kan mätas. Vidare beräknas graden av fragmentering utifrån vegetationspolygonen, samt tecken på fysisk påverkan (t.ex. mudderrännor, propellerspår, ankringsskador, fysiska strukturer, m.m.). Vid fältprovtagning med dropvideo och sonar insamlas också en rad variabler som kan användas för att bestämma kvaliteten på vegetationen (t.ex. artsammansättning, täckningsgrad, höjd och djuputbredning av vegetationen, förekomst av inväsa arter, täckningsgrad av fintrådiga alger, m.m.).

Insamlade data från drönarlokalerna kan sedan aggregeras för olika behov, t.ex. för att bedöma bevarandestatus för en naturtyp inom ett havsområde. Provtagna lokaler inom naturtypen antas då utgöra representativa stickprov varför medelvärden av areell förändring och kvalitetsvariabler kan beräknas och bedömas för naturtypen (se Figur 26 och Figur 27 för exempel).

Om det förekommer historiska värden på vegetations utbredning i lokalen kan dessa utgöra referensvärden vid bedömningen. Om detta saknas kan istället lokalen bedömas från trenden i förändringen av vegetations areella utbredning från det att övervakningen startas.

I nästa steg används data från drönarprovtagningen för att träna och validera klassning av flerårig fastsittande vegetation i hela bedömningsområdet med satellitmetoden. Här används ett stort antal satellitbilder från alla år inom förvaltningscykeln för att identifiera stabila vegetationsområden. Denna analys ger en skattning på den totala arealen av vegetationsstypen inom bedömningsområdet (t.ex. naturtypen eller kustvattentypen) samt noggrannheten i skattningen, vilket utgör kompletterande information för att bedöma statusen i bedömningsområdet. Om noggrannheten bedöms vara god kan skattningen användas för att bedöma trender i total utbredning mellan förvaltningscykler.

Satellitmetoden utgör också en storskalig övervakning som kan indikera förändringar i utbredning utanför de områden som provtas med drönare. Detta kan ske om ett tidigare stabilt vegetationsområde förändras under förvaltningscykeln. Detta kan då föranleda en fältprovtagning för att bekräfta vegetationsstypen och förändring i areell utbredning, vilket då inkluderas i bedömningen.

3.3. Förslag på metod för statusklassning av grunda marina områden enligt art- och habitatdirektivet

Nedan följer ett inledande förslag på hur underlag insamlade med satellit- och drönarmetoden enligt ovan beskrivna övervakningsprogram kan användas för klassning och uppföljning av naturtypers bevarandestatus enligt art- och habitatdirektivet. I förslaget nedan förutses att det finns tillgängliga polygoner för olika naturtypers utbredning i Sverige.

I. Initial klassning av naturtypens tillstånd enligt AHD

Klassningen utförs i två steg där en klassning först görs i utvalda lokaler som ingår i drönarprovtagningen med hjälp av en datastyrd expertbedömning där både data från drönarfoton och data från fältprovtagning med dropvideo eller vattenkikare och sonar används. I tillägg används också publika rikstäckande data (Törnqvist m.fl. 2020) med modellerad skattning på graden av fysisk påverkan och modellerad djup- och exponeringsklass (s.k. abiotisk miljötyp) som indikerar känslighet av miljön för fysisk påverkan. I det andra steget används satellitdata för att skatta den totala utbredningen av vegetations-typen, samt för att kunna extrapolera klassningen över alla förekomster i bedömd naturtyp (exempelvis 1150, 1160 eller andra grunda habitat). Orsaken till att det kräver en viss måtta av expertbedömning grundas i att vi inte för närvarande har vetenskapligt stöd för speciella gränsvärden för god (gynnsam) eller dålig status (ogynnsamt eller dåligt bevarandestillstånd) för de olika ingående parametrarna.

Steg 1 – datastyrd expertbedömning av besökta områden

I ett första steg sker statusklassningen av en naturtyps tillstånd genom expertbedömning separat i samtliga delområden (t.ex. vikar, laguner) inom naturtypen som provtagits med drönare och fältprovtagning. Detta kan handla om 20-50 avgränsade provtagningslokaler per naturtyp och bedömningsområde (t.ex. havsområde). Dessa lokaler antas utgöra ett representativt (stratifierat) stickprov av hela naturtypen i bedömningsområdet. Klassning av tillståndet utgår från beskrivningen av ett gott tillstånd av naturtypen och beaktar alla typer av antropogen påverkan (t.ex. övergödning, fysisk påverkan, invasiva arter).

Följande underlag beaktas i expertbedömningen:

a. Ortomosaik från drönarfoton

- Areell utbredning (hektar) av fastsittande flerårig vegetation (här kallad "vegetation") och areal av drivande algmattor
- Proportion vegetation inom ett definierat bedömningsdjup i lokalerna
- Fördelning av areal över djup där vegetationen potentiell kan växa
- Fragmenteringsgrad av vegetationen
- Strukturer och spår av fysisk påverkan (t.ex. bryggor, mudderrännor, propeller- eller ankringskador, m.m.)
- Eventuell naturlig påverkan från t.ex. fåglar

Den areella utbredningen skulle kunna bedömas med fastsatta gränsvärden och historiska data, eller med hjälp av trendanalyser över tid. Exempelvis skulle tillståndet inte bedömas som gott om den areella utbredningen av fastsittande vegetation bedöms vara betydligt mindre än den historiska utbredningen i lokalen, eller om en negativ trend i utbredning sedan provtagningen startade kan fastläsas i lokalen. Övriga variabler behöver inledningsvis hanteras med expertbedömning.

b. Fältprovtagning med dropvideo, vattenkikare, snorkel, sonar m.m.

- Förekomst av olika arter av långskottsvegetation och drivande algmattor
- Maximal djuputbredning av ålgräs och eventuell förekomst av känsliga arter (indikerar vattenkvalitet)
- Täckningsgrad/skottäthet samt höjd av vegetation (inom ången)
- Täckningsgrad av snabbväxande trådformiga alger ovanpå vegetationen (indikerar övergödning)
- Förekomst av invasiva arter

c. Skattad fysisk påverkan i området (modellerade "påverkansområden")

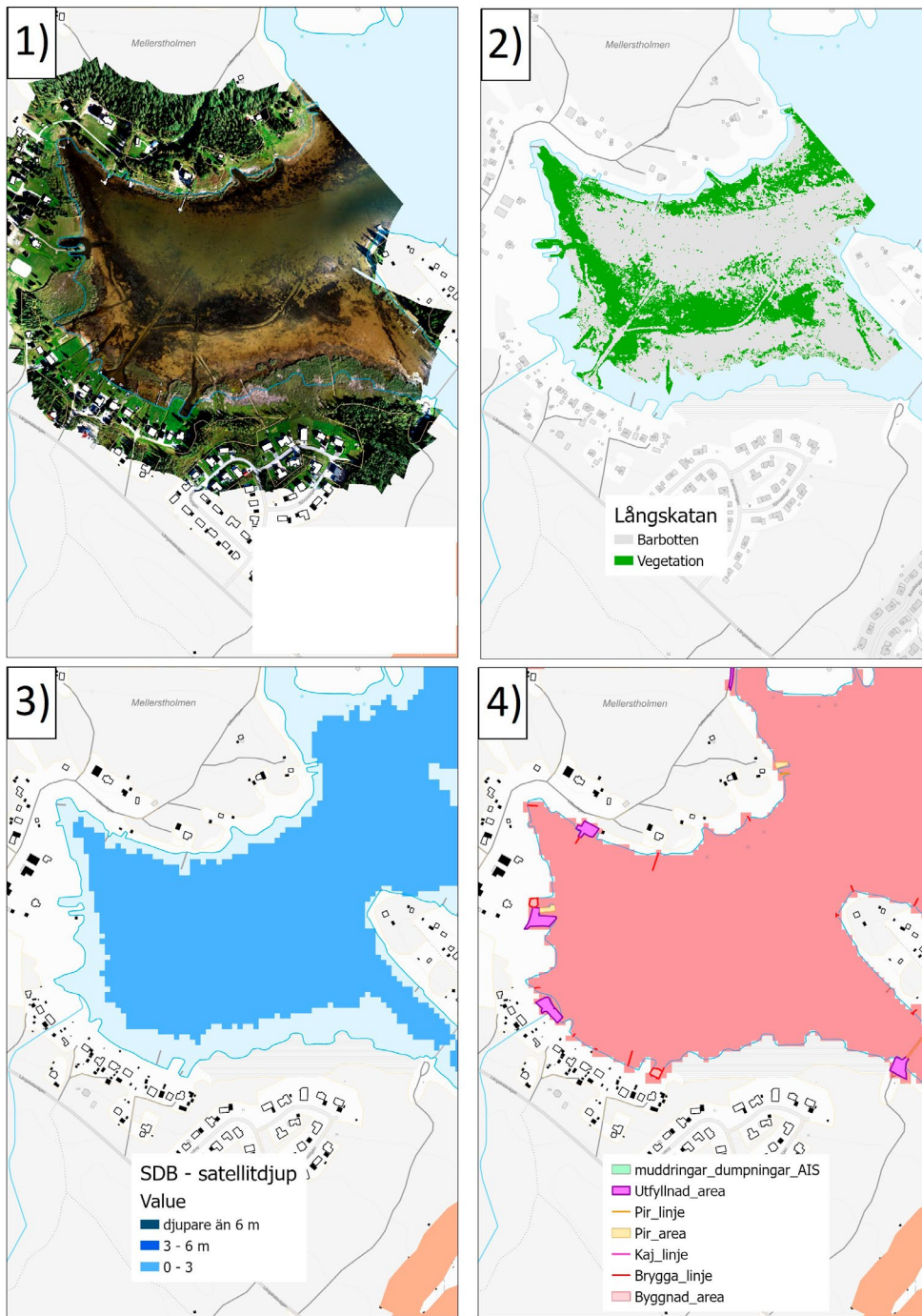
- Areal och andel av lokalen som bedöms vara påverkad av fysisk påverkan enligt modellerade påverkansområden runt flyginventerade objekt (t.ex. bryggor, pirar, mudderrännor; Thörnqvist m.fl. 2020)
- Typer av fysisk påverkan i lokalen.

d. Abiotiska miljötyper i området

- Förekomst av 12 klasser av abiotiska miljötyper beräknas i varje lokal. Dessa indikerar bl.a. sedimenttyp, känslighet för olika typer av påverkan och kan ge ett generellt naturvärde för mjuka bottenar.

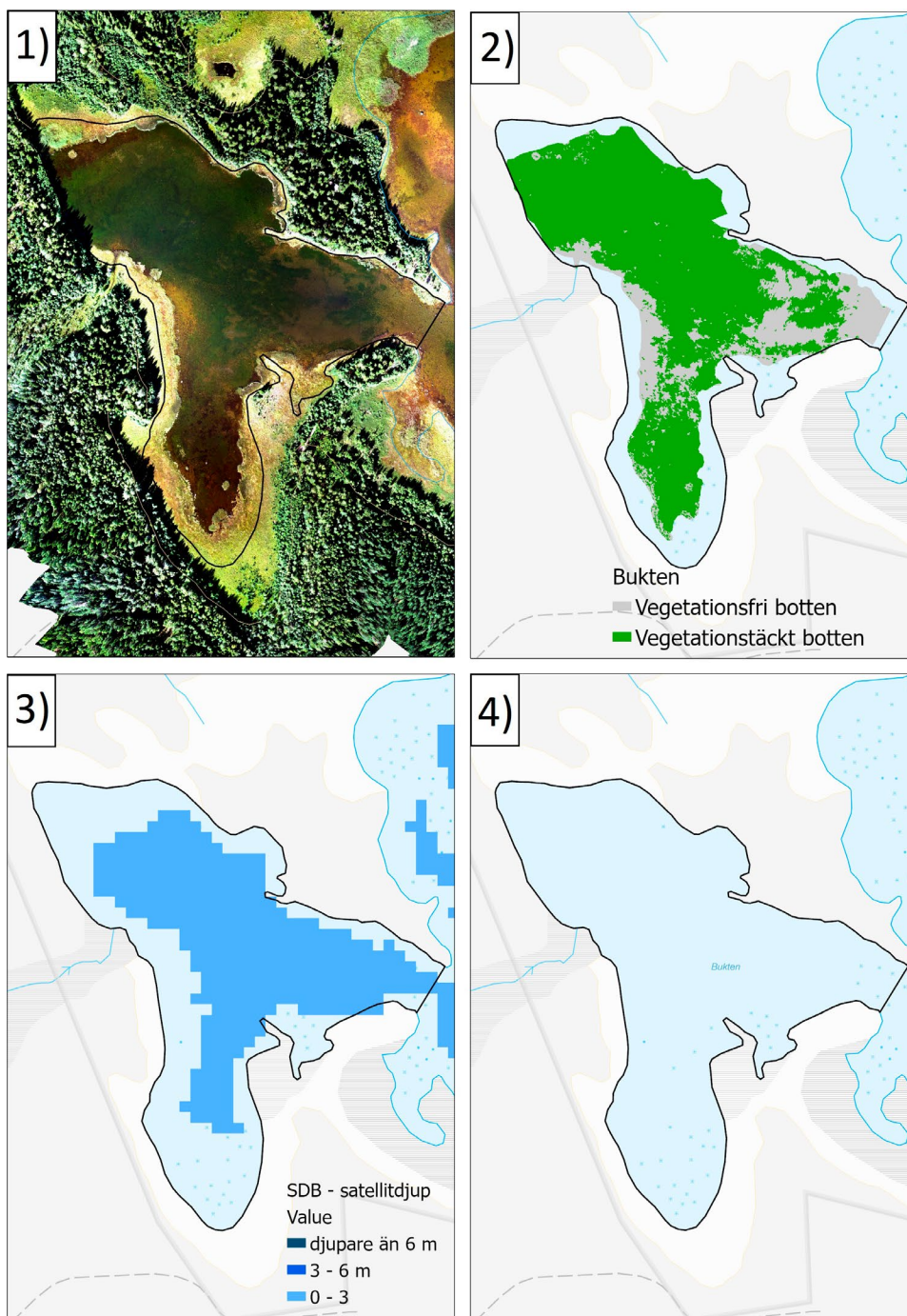
(e. Näringsstatus enligt SMHI-modeller)

- Näringsstatus beräknade enligt SMHIs modell bör kunna nyttjas, dock har ännu inga analyser utförts. Vattenförekomsternas status ger dock ingen diskriminering enligt preliminära granskningar (notera att nästan hela Östersjön är satta i måttlig status (gul klass)).



Statusbedömning	Långskatan
a.) Drönarfoto	
Vegetationstäckt botten:	20-30% (bildtolkning)
Synlig fysisk påverkan:	bottenskada - omfattande
Naturlig störning:	synliga - ej omfattande
Fragmentering:	fläckighet beroende på bottenskada
b.) Fält referensdata	
Dominerande vegetation:	-
Invasiva arter:	ja - smal vattenpest
c.) Skattad fysisk påverkan	
Känd fysisk påverkan (Thörnqvist m.fl. 2019):	ja
Typ av påverkan:	pirar, utfyllnad och påverkanszon
d.) Abiotiska miljötyper	
SDB:	grund under 3 m
Exponering:	exponerad
Näringsstatus:	bra
Status bedömning:	Dålig status

Figur 26. Bedömning av bevarandestatus för lagunen Långskatan i Norrbotten. Panel 1) Ortofoto, 2) Vegetation enligt bildanalys, 3) SDB (Satellite Derived Bathymetry) och 4) Fysisk påverkan.



Statu sbedömning	Bukten
a.) Drönarfoto	
Vegetationstäckt botten:	77% av analyserad area (analyserad)
Synlig fysisk påverkan:	inga synliga
Naturlig störning:	inga synliga
Fragmentering:	naturlig fläckighet
b.) Fält referensdata	
Dominerande vegetation:	Lemna trisulca 78% av vegetationstäcktaytan
Invasiva arter:	nej
c.) Skattad fysisk påverkan	
Känd fysisk påverkan (Thömqvist m.fl. 2019):	nej
Typ av påverkan:	-
d.) Abiotiska miljötyper	
SDB:	grund under 3m
Exponering:	Skyddad
Näringsstatus:	bra
Statusbedömning:	God status

Figur 27. Bedömning av bevarandestatus för Bukten en lagun i Västerbotten. Panel 1) Ortofoto, 2) Vegetation enligt bildanalys, 3) SDB (Satellite Derived Bathymetry) och 4) Fysisk påverkan

Steg 2 - Skattning av total vegetationsförekomst och tillståndsklassning med hjälp av satellitbilder

För att genomföra en klassning i alla förekomster av naturtypen i bedömningsområdet används ett stort antal satellitbilder för att identifiera stabila vegetationsområden som sannolikt utgörs av fastsittande vegetation. För dessa områden görs en beräkning av noggrannheten i klassningen, och därefter beräkning av den totala arealen av vegetationstypen inom naturtypen samt en extrapolering av tillståndsbedömningen.

a. Kontroll av noggrannhet av satellitbildsklassad vegetation i besökta polygoner (vikar, laguner, etc.) inom naturtypen

Med hjälp av fältdatapunkter och drönarskattad utbredningen av vegetation i besökta lokaler görs följande beräkningar av satellitbildsklassad vegetation:

- Total noggrannhet i vegetationsklassningarna i besökta lokaler
- Total areal av vegetation och areal som överlappar med drönarskattad vegetation i besökta lokaler (vikar, laguner etc.)
- Variationsberäkningar i urvalet av lokaler per bedömningsområde
- Den beräknade noggrannheten och precisionen i analysen (total areal och proportion av vegetation jämförs med drönarskattningar) används för att ange en osäkerhet i klassningarna för hela naturtypen (se nedan).

b. Skattning av den totala arealen vegetation och bedömning av representativitet av besökta lokaler

Areal av vegetation skattas från satellitbilder i hela naturtypen inom valt bedömningsområde. Detta underlag är viktigt för uppföljning (se nedan).

För att bedöma om de drönarskattade lokalerna utgör ett representativt stickprov av alla objekt inom naturtypen görs följande jämförelser mellan de drönarbesökta lokalerna och samtliga satellitklassade lokaler:

- Andelen abiotiska miljötyper
- Areal och andel fysisk påverkan/fysiska skador per lokal
- Areal skattad vegetation per lokal
- Proportion skattad vegetation per lokal

Om avvikelserna är stora övervägs att inkludera fler drönarvikar av den typ som är underrepresenterad.

c. Tillståndsklassning i hela naturtypen

När drönarbesökta lokaler bedöms utgöra ett representativt stickprov för naturtypen extrapoleras tillståndsklassningen från de drönarbesökta lokalerna till hela naturtypen i bedömningsområden. Följande variabler rapporteras:

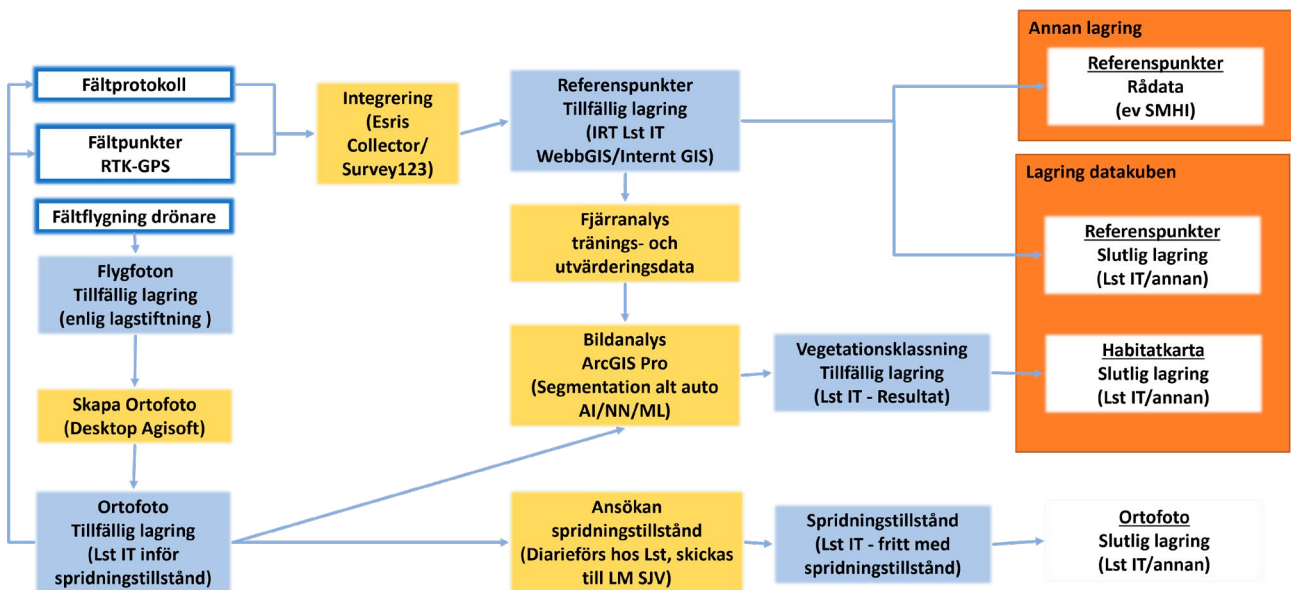
- Areal av naturtypen inom bedömningsområdet
- Skattad total vegetationsareal och andel vegetation inom naturtypen och bedömningsområdet
- Klassning av hela naturtypens tillstånd efter riktlinjer från art- och habitatdirektivet
- Osäkerhetsbedömning av skattade arealer och tillstånd.

II. Övervakning och uppföljning av naturtyper

- Utvalda drönarbesökta lokaler (vikar, laguner etc.) inom naturtypen återbesöks minst två gånger per 5 eller 6-årig förvaltningscykel för att kunna skatta och detektera förändringar i vegetationens areella utbredning och kvalitet (tillstånd). Lokaler med en naturligt stor variation kan behöva tätare besök, alternativt hanteras som avvikande eller exkluderas. Notera att det finns områden i Sverige (innerskärgård i Östergötland- Stockholm- Uppland) som är så grumliga att havsbotten nästan aldrig går att detektera i drönare eller satellit. I dessa områden kan provtagning med side-scan sonar (avsnitt 2.1.4) utgöra ett alternativ för att skatta vegetationens utbredning.
- Den areella utbredningen av vegetation inom hela naturtypen skattas minst två gånger per år från satellitbilder med målet att detektera förändringar i vegetationsutbredning inom något delområde.
- Om en större förändring indikeras i analyserna görs en fördjupad analys med fler bilder för det aktuella området.
- Om en större förändring bedöms sannolik utförs ett fältbesök i aktuell lokal för att bedöma tillståndet med drönare, sonar och dropvideo, m.m.

- Vid rapportering enligt artikel 17 anges förutom de variabler som angivits ovan även förändring eller trend sedan mätperioden startade av följande variabler:
 - Drönarskattad vegetationsareal inom besökta lokaler
 - Satellitskattad vegetationsareal inom hela naturtypen, från 2018 och framåt

Förändring av vegetation vägs in vid bedömningen av naturtypens tillstånd från den naturliga. Medelvärde från en femårsperiod kan nyttjas från satellitbilder för att sätta aktuella gränsvärden för arealer.



Figur 28. Skiss av dataflödet från fältarbete till slutgiltig datalagring.

3.4. Lagring av data och utmaningar med sekretess

Tre olika dataunderlag bildas vid fältarbete med drönare och insamling av fältreferenspunkter (Figur 28). I korthet bildas punktdata med vegetationstäckning av dominerande arter, högupplösta ortofoton tagna med drönare och analyserade kartdata som visar en heltäckande habitatskarta enligt exempelvis EUNIS. Normalt fotograferas enskilda grundområden med en yta på mellan 10-30 hektar, men lokaler upp till 100 hektar har inkluderats. När det gäller drönarbilder så krävs ett godkänt spridningstillstånd från Lantmäteriet och Sjöfartsverket för att lagra eller sprida bilder i mer öppna lösningar. Lagring av punktdata kan göras hos SMHI. Lagring av drönarbilder och habitatskartor lagras tills vidare hos Länsstyrelsen, men inom uppdraget har även olika andra lösningar undersökts. Exempelvis har Sokigo AB på uppdrag av Länsstyrelsen Västerbotten utrett och tagit fram ett förslag på en teknisk lösning för hur ortofoto från drönare och resultat från bildanalyser skulle kunna lagras och tillgängliggöras för slutanvändare inom marin fjärranalys hos ett privat företag. Själva lösningen togs fram under ett antal arbetsmöten med slutanvändare från länsstyrelsen och Göteborgs universitet. Lösningen är anpassad till de mjukvaror som används av samtliga länsstyrelser och många universitet dvs ESRI:s produkter. I början av 2023 har länsstyrelsernas gemensamma förvaltningsorganisation beslutat om att initiera

ett nationellt projekt kring drönare där lagring av drönarbilder finns med.

Den webbaserad analysplattformen "SAV Sweden" finns fysiskt implementerad i ICE datacenter i Luleå. En överenskommelse finns med RISE (Research Institutes of Sweden) för tillgång till deras ICE datacenter och för teknisk support från datatekniker. RISE tillhandahåller därmed servrar och digitalt utrymme för analysplattformen SAV Sweden. RISE lagrar och tillhandahåller även satellitbilder för Digital Earth Sweden (DES) som Rymdstyrelsen driver. På så sätt finns analysportalen SAV Sweden under samma paraply som DES.

Träningsdata och analysdata för satellitbilderna som produceras genom plattformen lagras på en server i ICE datacentret. Resultatet från satellitbildsanalyserna exporteras till den utförare som genomför analysen. Analysresultaten lagras tills vidare hos Länsstyrelsen Västerbotten som nationell samordnare. Avtal finns för fortsatt tillgång till analysplattformen under åtminstone 2023 och 2024.

4. Referenser

DHI Sverige 2021. Development and evaluation of satellite image analysis for classification and monitoring of shallow marine habitats. DHI report for Länsstyrelsen i Västerbottens län. Länsstyrelsen Västerbotten dnr: 538-3071-2020

Envall M. 2012. Ålgräsutbredning (*Zostera* sp.) i Västra Götalands län sommaren 2008. Rapport Länsstyrelsen i Västra Götalands län, 2012:58.

EOMAP 2019. Satellite-Derived Seagrass mapping, West Sweden Pilot. EOMAP report for Länsstyrelsen i Västerbottens län. Länsstyrelsen Västerbotten dnr: 538-6652-2019

Huber S, Hansen LB, Nielsen T, Rasmussen M, Sølvsteen J, Berglund J, Paz von Friesen C, Danbolt M, Envall M, Infantes E, och Moksnes P-O. 2021. Novel approach to largescale monitoring of submerged aquatic vegetation: A nationwide example from Sweden. *Integr Environ Assess Manag* 2022:909–920, DOI: 10.1002/ieam.4493.

Infantes E. 2018. Coastal mapping in Kosterhavet National Park using drone technology: Eelgrass distribution 2018. Rapport Länsstyrelsen i Västra Götalands län, 2018.

Infantes E, Tamarit E, Envall M, och Moksnes P-O. 2019. Evaluation of methods for mapping and monitoring areal distribution of eelgrass. Projektrapport Havs- och vattenmyndigheten.

Paz von Friesen, C. 2019. Utvärdering av kartering och uppföljning av undervattensvegetation med hjälp av drönar- och satellitbilder. Rapport Länsstyrelsen i Västerbotten, dnr: 538-6652-2019

Törnqvist O, Klein J, Vidisson B, Häljestig S, Katif S, Nazerian S, Rosengren R, och Giljam C. 2020. Fysisk störning i grunda havsområden – Kartläggning och analys av potentiell påverkanszon samt regional och nationell statistik angående störda områden. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2020:12.

5. Bilagor

Bilaga 1: Manual för övervakning av undervattensvegetation i grunda havsområden med drönare (Detaljerad beskrivning av alla steg vid fältprovtagning av vegetationsutbredning med drönare samt insamling av fältreferenspunkter)

- Lathund DJI Phantom finns tillgängligt på begäran

Bilaga 2: Protokoll för insamling av fältreferenspunkter i Östersjön (Instruktioner för utformning av protokoll samt exempel för Field Maps och utskrift i PDF-format)

Bilaga 3: Protokoll för insamling av fältreferenspunkter i Västerhavet

- Fältprotokoll (Excel-dokument med fältprotokoll för utskrift, samt ifyllt exempel för vägledning som hänvisas till i manualen)
- Digitalt protokoll (Excel-dokument för att samla data, samt ifyllt exempel för vägledning som hänvisas till i manualen)

Bilaga 4: Riktlinjer för provtagning av ålgrässets djuputbredning (Detaljerad beskrivning av alla steg vid fältinsamling av data för att bedöma ålgräsängars djuputbredning)

Bilaga 5: Protokoll för insamling av ålgräsängars djuputbredning i Västerhavet

- Fältprotokoll (Excel-dokument med fältprotokoll för utskrift, samt ifyllt exempel för vägledning som hänvisas till i manualen)
- Digitalt protokoll (Excel-dokument för att samla data, samt ifyllt exempel för vägledning som hänvisas till i manualen)

Bilaga 6: Instruktioner för att skapa ortomosaiker i Agisoft (Översiktlig beskrivning av hur drönarbilder konverteras till sammanhängande ortomosaiker i Agisoft Metashape Professional)

- Lathund med skärmdumpar finns tillgängligt på begäran

Bilaga 7: Instruktioner för drönarbildsanalys (Översiktlig beskrivning av tillvägagångssätt för att klassa havsbotten i ortomosaiker med hjälp av ArcGIS Pro)

Bilaga 8: Manual fältprovtagning av ålgräsängars djuputbredning med hjälp av side-scan sonar (Beskrivning av hur side-scan sonaren Little Eye och dess mjukvara från DeepView ska användas vid fältprovtagning).

- Lathund för bearbetning av side-scan data finns tillgängligt på begäran

Bilaga 9: Jämförelse sonarmetoder för kartläggning och skattning av ålgräsängars djuputbredning (Rapport av studie i Bohuslän som utvärderar side-scan sonar som ett verktyg för att kartlägga ålgräsängars djuputbredning)

Bilaga 10: Instruktioner för satellitbildsanalys i SAV Sweden (Översiktlig beskrivning av tillvägagångssätt för satellitbildsklassning i plattformen SAV Sweden)

- Lathund med skärmdumpar finns tillgängligt på begäran

Kontakta Johnny Berglund (johnny.berglund@lansstyrelsen.se) för begäran om ytterligare material.



Marin fjärranalys

Bilaga 1: Manual för drönarflygning och fältarbete



Länsstyrelsen
Västerbotten

I samarbete med:



Länsstyrelsen
Kalmar län

Titel: Manual för övervakning av undervattensvegetation i
grunda havsområden med drönare

Utgiven av: Länsstyrelsen Västerbotten 2023

Text: Magnus Danbolt, Johnny Berglund, Anna
Thomasdotter, Carlos Paz von Friesen, Per-Olav Moksnes

Bild omslag: Ingrid Wänstrand, Länsstyrelsen i Uppsala

Adress: Länsstyrelsen Västerbotten, 901 86 Umeå

Telefon: 010-225 40 00

E-post: vasterbotten@lansstyrelsen.se

Internet: www.lansstyrelsen.se/vasterbotten

Diarienummer: 8767-2021

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
1. Utrustning.....	5
1.1. Drönare	5
1.2. Hård- och mjukvara.....	6
Planeringsapp för drönarflygning	6
Efterbearbetning av ortofoto	6
2. Planering.....	7
2.1. Regler	7
2.2. Områden	7
2.3. Väder.....	8
2.4. Tidpunkt på dagen och risk för solbländning.....	10
2.5. Att välja fältdagar.....	11
3. Ruttplanering, inställningar och transekter.....	11
3.1. Planering	11
3.2. Inställningar	12
3.3. Batteritid	12
3.4. SD-kort	12
3.5. Att tänka på inför autonoma uppdrag.....	12
3.6. Problem med autonoma uppdrag	13
4. Efter flygning.....	13
5. Tips & lärdomar	13
5.1. Flyghöjd och överlapp.....	13
5.2. Dålig sikt.....	14
5.3. Reflexer i ortofotot	14
5.4. Planering	14
6. Insamling av fältreferenspunkter (ground truth)	15
6.1. Utrustning och personal	15
6.2. Fältreferenspunkter – syfte och bakgrund	15
6.3. Tillvägagångssätt vid provtagningen.....	16
7. Bilagor och ytterligare information	17
8. Referenser och rekommenderad läsning	18

Sammanfattning

Den här manualen beskriver en metod för att samla in data för att övervaka undervattensvegetation i grunda havsområden med hjälp av flygande drönare. Metoden består av tre delar: insamling av ortofoto, insamling av substrat- och vegetationsdata (fältreferenspunkter eller så kallad ground truth), samt analys av ortofoto med hjälp av fältreferenspunkter. Här beskrivs insamling av ortofoton och insamling av fältreferenspunkter. Manualen tar upp de förutsättningar som krävs för ett lyckat resultat. Manualen har tagits fram inom ett bredare uppdrag kallat *Marin fjärranalys* där även analys av satellitbilder ingår. Detaljerade "lathundar" för specifik utrustning och hur den används finns som bilagor till den samlade rapporten för marin fjärranalys.

Manualen förutsätter att det finns en utbildad drönarpilot som följer de regler för drönare som gäller från och med 1 januari 2021 i Sverige och därmed är certifierad och bekant med regler och handhavandet av sin utrustning. Observera att manualen inte går in på tekniska detaljer som berör hur drönare flygs eller detaljer om regelverk. Drönarpiloten måste vara bekant med detta.

Under utvecklingen av drönarmetoden för Marin fjärranalys så har det framkommit att den rumsmässiga noggrannheten i ortofoton och fältreferenspunkter har stor betydelse för analysen av områden med vegetation, substrat och förändringar över tid. Noggrannheten beror till stor del av vilken typ av GPS som används i drönaren och vid provtagningen av fältreferenspunkter. Denna manual fokuseras på så kallade Real Time Kinetics (RTK) som kräver avancerad och ofta dyr utrustning men som ger mycket hög positionering. Som jämförelse kan en vanlig GPS ge fel på 10 meter medan en RTK-GPS ofta ger positioner på centimeternivå. Sammantaget så bör alla som använder drönarmetoden för uppföljning av vegetation i miljöövervakningssyfte arbeta med samma noggrannheter vilket enklast görs med samma typer av system och utrustning. I andra sammanhang där noggrann positionering är mindre viktigt kan enklare utrustning användas.

1. Utrustning

Datansamling med drönarmetoden för Marin fjärranalys kräver en drönare, kraftfull dator med programvara för att processa högupplösta bilder till ortofoton, GPS med hög precision och utrustning för marina inventeringar för att bestämma fältreferenspunkter.



Figur 1: DJI Phantom 4 RTK med integrerad skärm

1.1. Drönare

Följande utrustning krävs för drönarflygning:

- Drönare
 - Minst 20 minuter flygtid per batteri
 - Mekanisk eller Global electronic-slutare
 - Minst 20 megapixel
- **Batterier** till drönaren
 - Minst 4 men gärna 6-8 st
- Fjärrkontroll till drönaren
 - Inbyggd skärm eller fjärrkontroll utan skärm där en Ipad kan kopplas in och tredjepartapp användas
- **SIM-kort** från teleoperatör för att koppla till RTK-tjänsten Swepos
- **RTK-abonnemang** från Lantmäteriet

Om drönaren inte har inbyggd RTK-GPS behövs även följande:

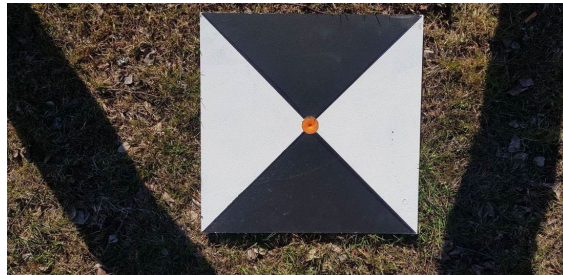
- **RTK-GPS**, till exempel handhållen Trimble Geo 7X eller Emlid R2+
- **Markstödsmärken**, gärna fyra eller fem stycken

Drönaren kan vara utrustad med vanlig GPS eller RTK-GPS för positionering. Fältarbetet underlättas betydligt om drönaren har RTK noggrannhet. En drönare med RTK-GPS spar mycket tid, men drönarna är dyrare, runt 65tkr, än en standardmodell som kostar 15-20 tkr. En RTK-drönare kräver ett Swepos-abonnemang (från Lantmäteriet) samt ett SIM-kort för uppkoppling mot mobilnätet.



Figur 2: a) DJI Phantom 4 Pro V2.0, b) Fjärrkontroll med Ipad, c) Transportväska.

Drönare med vanlig GPS kan också användas för att samla in ortofoton men då behöver ortofotona rektifieras i efterhand med hjälp av kontrollpunkter (markstödmärken) för att uppnå samma noggrannhet som en drönare med RTK-GPS. I detta alternativ används en drönare som är utrustad med vanlig GPS och positionering av ortofoto behövs korrigeras i efterhand. Drönaren kostar runt 15-20 tkr. Korrigering sker med hjälp av RTK-GPS som med separat antenn kan kosta runt 20 tkr. Den här metoden kräver att markstödmärken (se till exempel Figur 3) kan läggas ut i området som ska fotograferas eller att det finns naturliga landmärken att tillgå. Stenar och andra landmärken kan till exempel användas om de är lätta att se i drönarbilden och ligger i marknivå. Det är önskvärt att lägga ut minst fem markstöd, dvs fyra i kanterna av området och ett i mitten. Detta är ofta svårt i öppna vattenområden vid kusten.



Figur 3: Markstödmärke

1.2. Hård- och mjukvara

Följande mjuk- och hårdvara behövs för drönarflygning och efterbearbetning:

- **Planeringsapp för drönarflygning**, till exempel Pix4D eller DJI GS
 - Appen ska ha möjlighet till manuella inställningar av kameran samt kontroll av kamera- och transektvinklar
- **Dator** med grafikkort med hög prestanda, minst 16 GB RAM
 - Besök respektive mjukvaras hemsida för prestandakrav
- **Mjukvara för ortomosaiker**, till exempel Agisoft eller Correlator 3D
- **GIS-program**, till exempel ArcGIS Pro eller QGIS

Planeringsapp för drönarflygning

För att enkelt kunna ta bilder till ett ortofoto behöver drönaren förprogrammeras med en flygrutt. Programmeringen kan ske till exempel i mjukvara som DJI GS Pro, Pix4D, Dronedeploy eller Capture som installeras direkt på drönarens kontrollenhet. I de flesta fall kan områden, transekter och flygrutter planeras på kontoret i ett GIS-program som ArcGIS där ett område kan markeras med polygoner som exporteras in till pilotappen. En vanlig drönare har oftast bara en pilotapp som inte har möjligheter för att planera automatiserade uppdrag. Det är en mycket stor fördel om planeringsappen tillåter att kameran ställs in manuellt och att flygriktning och vinkel kan redigeras. Det kan till exempel förbättra bildkvaliteten genom att solglitter undviks från vattenytan. För planering av autonoma uppdrag för flygfotografi rekommenderas DJI GS Pro för RTK men man kan även använda Pix4D. Dronedeploy rekommenderas inte på grund av att programmet ger mycket begränsad kontroll över inställningar för kamera och transekter. För att få bra flygfoton på vattenytor kan det vara nödvändigt att anpassa kamerainställningar och utformning av flyglinjer.

Efterbearbetning av ortofoto

Efter att flygningen gjorts laddas fotona upp i datorn och importeras till mjukvaran som sätter ihop de individuella bilderna till ett ortofoto eller en ortomosaik. Det finns olika lösningar för att tillverka

ortofoton, bl.a. Solvi (svensk), Pix4D Mapper och Dronedeploy som är molntjänster, eller program som installeras på en egen dator som Agisoft eller Correlator3D. I dagsläget tillåter dock inte många myndigheter, däribland Länsstyrelsen, att molntjänster används för att sätta ihop ortofoton. Instruktioner för användande av Agisoft Metashape Pro finns som bilaga till rapporten om marin fjärranalys. För organisationer som kan använda molntjänster och t.ex. Pix4D rekommenderas rapporten "Manual for mapping Swedish coastal habitats using drones (Infantes 2019) för en detaljerad beskrivning av hur Pix4D används

2. Planering

Bottensubstrat och undervattensvegetation måste synas tydligt från luften för att kunna avgränsas på ett ortofoto. En viktig erfarenhet under utvecklingen av drönarmetoden för Marin fjärranalys är att välja rätt områden och rätt tillfälle för flygning. Väderförhållanden, utrustning och vattenkvalitet spelar stor roll för resultatet. Dessutom ska datainsamlingen helst göras när den säsongsbundna tillväxtperioden för vegetationen har nått sin kulmen. Tillväxtperioden varierar längs Sveriges kuster och är till exempel senare i norra Sverige än i södra och kan variera från år till år. Om det är en tidig vår kan provtagningen starta lite tidigare, och omvänt. Längs Sveriges västkust och i södra Egentliga Östersjön går det generellt bra att provta vegetationen från slutet av juni till slutet av september. I de norra delarna av Östersjön är det bäst att provta i augusti-september för att också ta hänsyn till algblomningar som kan vara problematiska i juli. Ortofoton och fältreferenspunkter av vegetation (ground truth) ska göras så nära i tid som möjligt så att vegetationsutbredningen inte förändras mellan tidpunkten för ortofoto och inventering, till exempel om en förändring sker genom en storm eller en blomning av en algmatta. Dock blir det en bedömningsfråga om hur lång tid det kan gå mellan flygning och fältprovtagning.

2.1. Regler

- Från och med 1 januari 2021 gäller nya regler för att få använda drönare: <https://www.transportstyrelsen.se/dronare>.
- Inför val av områden ska Transportstyrelsens drönarkarta användas för att kontrollera flygförbuds zoner: <https://daim.lfv.se/echarts/dronechart/>

2.2. Områden

Drönarmetoden med RTK-GPS används lättast där det finns god mobiltäckning. Mobiltäckning behövs för RTK-korrektion för både drönare och handburen RTK-GPS och underlättar nedladdning av kartor och för att använda till exempel Arcgis Field Maps. Mobiltäckningen bör kontrolleras innan områden väljs eftersom täckningen kan skifta i kustbandet.

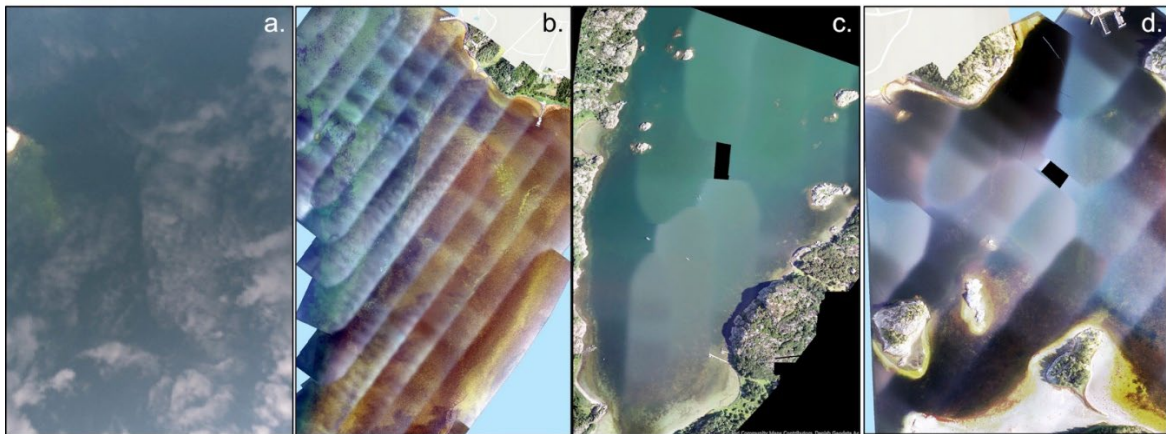
En viktig begränsande faktor vid val av lokaler och tidpunkt är siktdjupet och ljusförhållanden i vattnet. De är avgörande för att kunna separera olika habitattyper och vilka djup som kan inkluderas. På ostkusten är det oftast möjligt att identifiera vegetation ned till 3 m och under bra förhållanden ner till 4 m. Vid västkusten går det oftast att identifiera vegetation ned till 4-5 m. Siktdjupet påverkas mycket av väderförhållanden och varierar snabbt i många områden. Kraftigt regn och avrinning kan ge dålig sikt i flera dagar nära kusten. Vind och vågor kan orsaka uppgrumling av sediment i grunda områden. I vissa långgrunda områden kan det räcka med en sjöbris för att skapa grumligt vatten och därför kan det vara svårt att få bra ortofoton av vikar på eftermiddagar. Samtidigt kan lugna, varma förhållanden resultera i blomningar av växtplankton som kan försvåra fotografering under vissa perioder. God lokalkunskap behövs därför för att bedöma vilka områden och perioder som är lämpliga för kartering.

För att underlätta processen att göra ortofoton av flygbilderna är det viktigt att det finns landmärken i bilderna. För mindre vikar med uddar, små skär och öar fungerar ofta detta bra där mycket landmassa kommer med i bilden. Däremot kan det vara problem att sätta ihop ortofoton av större områden samt långa kuststräckor med sandstränder som i Öresund och Kalmarsund, framför allt om vegetation växer långt från land och landmärken. Detta problem kan i vissa fall lösas genom att flyga på högre höjd (upp till 300 meter) så att fler landmärken kan ses i bilderna, vilket fortfarande ger tillräckligt bra upplösning i bilderna. Det krävs dock ett speciellt tillstånd från Transportstyrelsen för att flyga över 120 meter, vilket sedan 2021 är något komplicerat att få. Ett annat alternativ är att använda sig av ett skript i programmet Agisoft, men med viss risk för att positioneringen försämras. I denna manual används 120 meter som är max tillåtna höjd för den öppna drönarklassen. I planeringen är det viktigt att också väga in att de fotograferade områdena måste provtas i fält med vattenkikare, dropvideo eller snorkling för att få minst 10 kontrollpunkter per habitat och av de dominerade vegetationstyperna, men minst 50 punkter som ska klassificeras i ortofotot (se separat manual för denna provtagning).

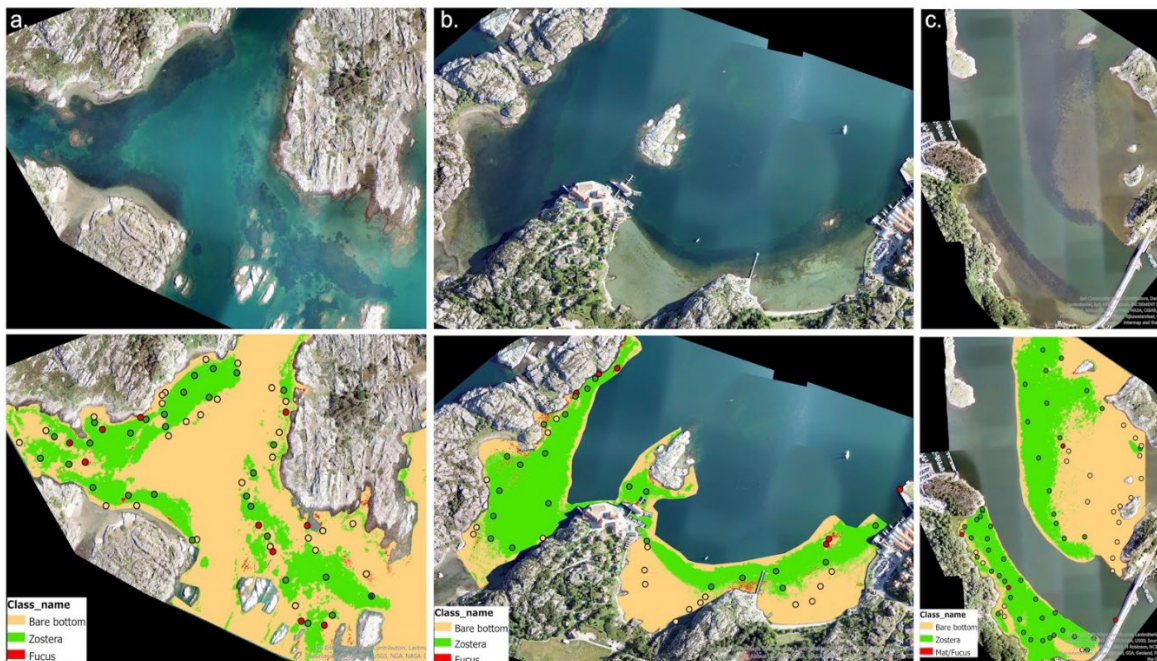
2.3. Väder

Vädret är en mycket viktig faktor för fotografering av undervattensvegetation med drönare. Redan vid vind runt 3 m/s skapas vågor som gör det svårt att se genom vattenytan på grund av reflektioner. Grunda områden kan också påverkas genom att vågor orsakar uppgrumling i vattnet och därmed sämre sikt. Vinden påverkar också drönarens flygförmåga, till exempel flygtid och manövrering. Drönarens begränsningar för väder och vind beskrivs oftast i dess manual, till exempel max vindstyrka och tålighet för fukt. Ett annat problem är moln som ger sämre ljusförhållanden i vattnet och som gör det svårare att identifiera olika habitat, framför allt på större djup. Varierande molnighet där ljusförhållandena skiftar under flygfotograferingen är kanske det största problemet. Detta skapar mörka och ljusa områden på samma ortofoto, vilket kan göra det omöjligt att analysera bilden. Även dagar med spridda moln kan skapa problem då de kan reflekteras i vattenytan. Detta kan leda till att kameran fokuserar på spegelbilden och att botten inte syns (Figur 4). Moln som reflekteras i vattenytan som gör det svårt att se botten (Figur 4a). Detta utgör främst ett problem vid fläckvis molnighet då molnen tydligt avtecknar sig mot en klar himmel. Kameran kan då av misstag fokusera på spegelbilden av molnen varvid botten inte ses. Solreflektion från en sida i de enskilda bilderna kan visa sig som band i ortofotot (Figur 4b), vilket gör det svårt att se botten och analysera bilden. Denna situation kan förbättras genom att lägga flygtransekterna i en annan vinkel (Figur 4c, d). Olika ljusförhållanden i olika bilder i ortofoton utgör ett allvarligt problem under varierande molnighet med solsken under delar av flygningen. Detta ger ljusa och mörka delar i bilden och stora problem vid analysen. Den svarta rutan i mitten av bilden (Figur 4c, d) indikerar problem med att få ihop ortofotot pga. reflektionen. Ingen av dessa exempel uppfyller minimikraven på ett ortofoto för analys av bottenhabitat och flygbilderna måste tas om.

Även regn kan ställa till problem genom att försämra sikten genom vattenytan, samt att orsaka utflöden av grumligt vatten om lokalen är nära ett vattendrag. Dagar med mycket vind, varierande molnighet eller risk för nederbörd ska undvikas helt. De ideala förhållandena är helt klara dagar med solsken utan moln och vind <3m/s. Dis eller jämnt tunt molntäcke kan också gå bra. Figur 5 visar exempel på ortofoton tagna vid ideala och OK förhållanden.



Figur 4: Exempel på problem med reflektioner i ortofoton.



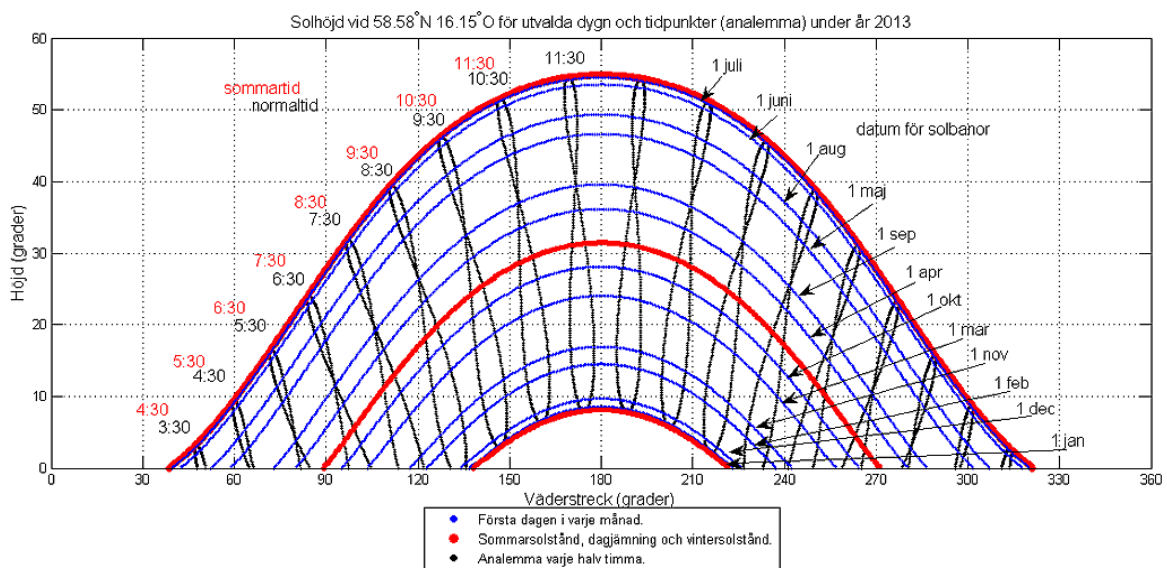
Figur 5: **Exempel på bra och godkända ortofoton från Västerhavet.** (a) Ortofoto från Sydoster under ideella förhållanden tidigt på morgonen; vindstilla, klar himmel och låg solvinkel. Ålgräsängarna framträder tydlig mot den ljusare sedimentbotten. (b) Ortofoto från Gullmarsfjorden vid goda förhållande. Bilden är tagen senare på förmiddagen och glitter från solreflektion syns i den övre delen av bilden, men stör in bildens nedre del där vegetationen återfinns. (c) Ortofoto från Älgöfjorden i södra Bohuslän med OK förhållanden. Tunt och varierande molndis ger olika ljusförhållanden i mosaiken, men vegetationen framträder tydligt ändå. Den nedre delen av figuren visar klassade habitat-typer baserat på ortofoton och insamlade kontrollpunkter av olika habitat (färgade punkter) fram samma lokaler.

2.4. Tidpunkt på dagen och risk för solbländning

Solens höjd över horisonten påverkar också när flygbilder bör tas. Solens position beskrivs med två parametrar, höjdinkel (solhöjd) och solens vinkel från norr (azimuth) och påverkar hur ljuset reflekteras från vattenytan och risken att kameran bländas (Figur 4), vilket tillsammans med ljusförhållanden, vågor, vind och vattenkvalitet är de viktigaste faktorerna för bildkvaliteten. För flygfotografering av en plan yta går det att räkna ut den vinkel där solens ljus kommer att reflekteras in i kamerans sensor om kameravinkeln är riktad 90° mot vattenytan (nadir), se bilaga 3 för detaljer. Solhöjden beror på undersökningsområdets latitud, årstid och tidpunkt på dagen. Teoretiskt så bländas kameran av solen i ideala förhållanden om solhöjden är större än (Mount, 2005):

$\text{Solhöjdmax} = 90^\circ - (\text{FOV}/2)$ där FOV är kamerans synfältsvinkel.

Som en tumregel kan bländning minimeras för de vanligaste drönarkamerorna om bilden tas när solhöjden är mellan 30° och 45° (Doukari et al., 2019). Den lägre vinkeln 30° har valts för att ta hänsyn till att tillräckligt med ljus tränger ner till botten. För att ytterligare minimera risken för bländning kan flygriktningen väljas så att den har samma eller motsatt vinkel som solens azimuth (Markelin, 2020). Enklaste sättet att uppskatta de tidpunkter där solhöjden är större än solhöjdmax för kameran vid nadir-fotografering är att använda [SMHIs solbandediagram](#) för olika latituder i Sverige (Figur 6). Om en undersökning ska göras vid en viss tidpunkt så varierar solhöjden med latituden för området. I Malmö är solhöjden 57,8° mitt på midsommardagen och 49,5° i Umeå så metod och tidpunkt för flygning måste anpassas därefter.



Figur 6: Exempel på solbandediagram för Norrköping (58,6°N 16,2°O) som visar solens höjd över horisonten och i vilket väderstreck solen står för olika tidpunkter under dagen och över året (bild från [SMHI](#)).

2.5. Att välja fältdagar

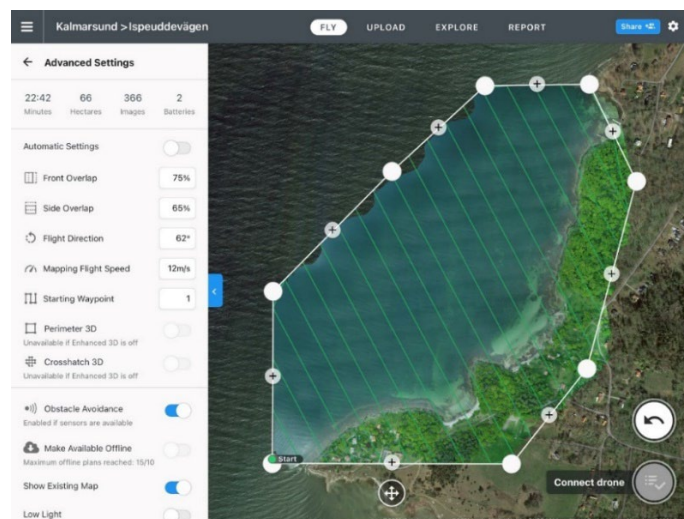
För att optimera fältdagar är det mycket värdefullt att använda några enkla väderkriterier för att få fram bra ortofoton. Nedan tabell är framtagen från webbapplikationen [UASea](#) (från Marine Remote Sensing Group vid University of the Aegean):

Faktor	Tröskelvärde för flygning
Temperatur (C)	-4 - 40
Luftfuktighet (%)	0-50
Molntäcke (%)	0-25
Chans för nederbörd (%)	0-50
Vindhastighet (m/s)	0-3,3
Våghöjd (m)	0-0,35
Solhöjd (grader)	25-45

3. Ruttplanering, inställningar och transekter

3.1. Planering

Planeringen av den autonoma flygningen kan göras direkt i till exempel Pix4D eller DJI GS Pro. Området som ska flygas kan med fördel ritas i GIS-verktyg som ArcGIS och exporteras som shapefil, KML eller KMZ-filer för att sen importeras till flygappen. Appen beräknar sen antalet transekter i polygonen beroende på flyghöjd och överlapp av foton.



Figur 7: Exempel på transektdesign och ortofoto. Tidpunkten för flygningen var kl 10. Transektens vinkel och flygriktningen var 62 grader och azimuth 150 grader.

3.2. Inställningar

- **Tilt:** Definierar kamerans vinkel mellan 0° (horisontell), och 90° (nadir eller vertikal, motsatts till zenith).
- **Överlapp:** Definierar hur stor del av fotot som överlappar nästa foto i en serie när drönaren flyger längs en förutbestämd transekt oftast förvalt som 70% / 80%.
- **Hastighet:** Oftast fungerar den förinställda hastigheten runt 10m/s för de flesta situationer. Men i dåligt ljus till exempel kan det vara nödvändigt att sänka hastigheten för att inte få rörelseoskarpa. Om det av andra anledningar krävs mycket skarpa bilder så rekommenderas hastigheter under 5m/s. Detta påverkar flygtiden.
- **Whitebalance:** För att undvika att färgbalansen ändras under fotograferingen så rekommenderas att använda en fast inställningen för Whitebalance som "Sunny" eller "Cloudy" beroende på väder. Det finns även "Water" som verkar ge bra resultat men som inte studeras grundligt i nuläget.
- Inställningar som slutartid, bländare och ISO kan i första hand sättas till "Auto" för att förenkla processen. För syftet att fotografera havsbotten bör dock strävan vara att maximera ljusinsläpp genom att ha stort bländartal och lång slutartid. Man bör rimligen även sätta fasta inställningar för någon av dessa, så att färgerna blir mer homogena vilket underlättar bildanalysen. Detta görs idag av Göteborgs Universitet med lovande resultat, men har ännu inte anpassats till eventuella regionala förhållanden i andra delar av landet.
- Välj "Time shooting" om val finns mellan "Time shooting" och "Distance shooting".
- "Distorsion correction" ska stängas av.

3.3. Batteritid

Det är viktigt att ha goda marginaler för flygtiden och att ha extra batterier med sig för att täcka det planerade området. När ett uppdrag planeras med hjälp av appen på kontoret så beräknas flygtid från waypoint ett till sista waypoint. Flygtid till och från området är inte med i beräkningen. Den totala flygtiden och batteriåtgången är beroende på var start-/landningspunkten är i förhållande till området, flyghöjd, vindstyrka och vindriktning. En drönare som har 30 minuter flygtid i specifikationen har ungefär 20 minuter effektiv flygtid. De flesta appar har en automatisk funktion som avbryter uppdraget när batteriet har 30% laddning kvar. Appen flyger hem drönaren och kommer ihåg var uppdraget avbrutits. När drönaren landat så kan batteriet bytas och uppdraget kan återupptas. Som regel för Phantom 4 RTK så kan man planera runt 18 min under vanliga förhållanden och ca 16 min om det blåser mer än 5-6 m/s. Tänk på vindriktning så att du har större marginaler när det blåser, till exempel om drönaren ska flyga motvind på väg tillbaka.

3.4. SD-kort

Det är alltid en risk att förlora data så det rekommenderas att ta med flera SD-kort i fält och att byta kort i drönaren när ett antal uppdrag har gjorts. Det räcker med 32Gb eller 64Gb kapacitet om korten byts mellan uppdragen.

3.5. Att tänka på inför autonoma uppdrag

Även om en flygning för att samla bilder till ett ortofoto kan ske helt autonomt måste drönarpiloten ha full kontroll över drönaren under uppdraget. Några viktiga punkter är:

- Från start till landning ska drönarpiloten ha uppsikt över drönaren.
- Piloten måste vara uppmärksam på om flygplan, helikoptrar, fåglar eller andra farkoster eller hinder kommer in i området.

- Piloten måste kontrollera att drönaren följer den planerade rutten och flyger längs transekterna. Väder kan slå om snabbt och ofta blåser det mer på högre höjd. Ofta finns en möjlighet att följa uppdraget genom appen och se de foton som tas.
- Piloten måste ha kontinuerlig övervakning på batteristatus. Blåsig väder kan påverka flygtid och piloten måste hela tiden tänka på flygtid och att det finns tillräckligt mycket batteri kvar för att landa säkert.
- Piloten måste hela tiden vara beredd att avbryta uppdraget och pressa RTH-knappen eller att ta över kontrollen av drönaren manuellt.
- Bra kommunikation mellan assisterande personer och piloten är avgörande för att undvika olyckor och för att lösa problem som kan uppkomma.

3.6. Problem med autonoma uppdrag

Störning i kommunikation mellan drönare och fjärrkontroll. Radiokommunikationen mellan fjärrkontroll och drönare kan störas av till exempel mobiltelefoner, radioutrustning eller annan utrustning som sänder radiovågor till exempel radar. Fysiska hinder kan också försämra kommunikationen till exempel byggnader, berg och kullar eller träd. Det är viktigt att ha en fri siktlinje mellan drönaren och fjärrkontrollen. Kraftledning kan orsaka störningar på kompassen i drönaren, radiomaster kan störa ut fjärrkontrollen och GPS-signaler vilket kan innebära att drönaren inte kan navigera och RTH inte fungerar. Flyg aldrig från en plats med högspänningskablar i närheten. Man kan flyga över dem men på rimligt avstånd, gissningsvis 50 meter från dem.

Om kommunikationen mellan appen och drönaren bryts så ska fjärrkontrollen (spakar och knappar) fortfarande ha kontakt. I de flesta drönare kommer drönaren då fortsätta uppdraget men till exempel kommer inga bilder laddas ner. Piloten kan manuellt ta kontroll över drönaren och flyga tillbaka den till landningspunkten.

Om kommunikationen bryts helt mellan drönaren och fjärrkontrollen så ska drönaren ha ett Fail-safe mode som startar ett RTH-protokoll och drönaren flyger till en landningspunkt som ofta appen sparar när uppdraget börjar. Det kan hända om till exempel batteriet tar slut i fjärrkontrollen.

Det är viktigt att veta att oavsett vad som händer ska piloten kunna ta manuell kontroll med fjärrkontrollen över drönaren när som helst under uppdraget och RTH-knappen kan aktiveras när som helst.

4. Efter flygning

När flygningen är klar så kontrollera att bilder har sparats och hur många. Om området är svårtillgängligt eller avlägset så är det en mycket bra rutin att kunna göra en snabbt ortofoto med låg kvalitet för att kontrollera solreflexer och moln. Om det inte är möjligt så kontrollera några bilder för solglitter och vågor så att det är acceptabel kvalitet och att det går att se bottenstrukturer och vegetation. Byt SD-kort om det är fler uppdrag som ska flygas.

5. Tips & lärdomar

5.1. Flyghöjd och överlapp

I den öppna drönarklassen är max tillåtna höjd 120 meter. Detta ger en upplösning på cirka 3cm per pixel vilket är mer än tillräckligt för att identifiera olika habitat. Kvalitén på ortofoton påverkas av överlappet mellan flygfotona. Överlappande bilder säkerställer att det finns tillräckligt mycket

nyckelpunkter som kan matchas i ortofotoprocessen. Desto fler nyckelpunkter desto bättre ortofoto men längre flygtid (Joyce et al., 2019).

5.2. Dålig sikt

Siktdjupet beror till största delen på faktorer som grumling, algblooming vind och vågor. För att få så bra bilder så möjligt så bör område och väder väljas med omsorg. Generellt så ska det vara så lite vind som möjligt för att undvika vågor som ger reflexer i vattnet. Men i ett område som är skyddat från vinden kan bildkvalitén fortfarande bli bra även om det blåser.

5.3. Reflexer i ortofotot

Om man misstänker att ortofotot kommer att ha mycket reflexer så kan man pröva vissa manuella inställningar för att minimera det. Om det exempelvis finns vågor så kan man misstänka att det kan bli reflexer. Detta är troligen något som man lär sig med tiden.

- Öka överlappet i längsled från 80% så att ortofotoprocessen har större chans att välja bilder utan reflexer.
- Mät solens azimuth med en kompass och justera flygriktningen så att den är parallell till den vinkeln.

Mer avancerade inställningar eller hjälpmedel kan vara att använda ett polarisationsfilter eller att vinkla kameran från solen men detta kräver mer kunskap och inställningar som inte är utredda än för den här manualen.

5.4. Planering

En viktig del av flygningen är själva planeringen. Man ska gärna i förväg skapa bra kunskap om sina områden och hur man kan ta sig dit så att man kan uppskatta transporttider på bra sätt. Planeringen är särskilt viktig i "svåra områden", dvs platser med risk för vind eller grumlighet. De bästa dagarna för drönarflygning, dvs soliga och vindstilla dagar, bör användas till djupare och mer exponerade områden. Omvänt kan områden som är skyddade och grunda flygas när förhållanden är mindre optimala, exempelvis om det har blåst under föregående dagar.

I och med att vädret har stor inverkan på arbetet med drönare så ska arbetsveckan och arbetsdagen planeras efter väderprognosen. Viktiga faktorer att ha koll på är moln och vind. Är det vindstilla under natten och morgonen så kan exempelvis dagen börja med flygning av mer exponerade områden. Ökar vinden i styrka (upp mot 5-6 m/s) eller ändrar riktning kan man övergå till områden som är mer skyddade (t ex avsnörda vikar) eller ligger i lä.

När man är klar med flygningarna och kommit hem, rekommenderas att ortofoton snabbt tas fram i syfte att kunna godkänna bilderna från flygningen. Här kan det vara lagom att göra ett ortofoto med lägre upplösning och noggrannhetskrav (lite "quick and dirty"). Områden där ortofotona inte är av tillräckligt hög kvalitet, exempelvis med för mycket reflexer i vattenytan eller för dålig vattenkvalitet att inte botten syns, behöver flygas om vid senare tillfälle. Kvaliteten för ortofotot är avgörande för en lyckad bildanalys och man ska därför alltid säkerhetsställa att resultatet från flygningarna håller en tillräcklig kvalitet (se Figur 4 och 5).

6. Insamling av fältreferenspunkter (ground truth)

6.1. Utrustning och personal

Utrustning

- Båt och trailer. Eventuellt SUP för grunda områden.
- Vattenkikare och snorkelutrustning
- Drop-video med skärm som låter dig se botten i realtid. Kameran bör ha minst 8 m kabel.
- Ekolod som gör att du kontinuerligt kan mäta boddjupet under båten vid färd.
- Måttband och vikt för att kalibrera ekolodets djupmätningar.
- GPS med en precision på <4 m (helst integrerad med ekolodet och kartplotter). RTK-GPS krävs inte i alla miljöer till exempel för ålgräsängar vid den svenska västkusten. Helst kopplad till e-protokollen för att underlätta provtagningen.
- Keps och polaroid-solglasögon (rekommenderas).
- E-protokoll i fältplatta med Fields Maps alternativt skrivtavla och tryckta protokoll.
- Digitala protokoll (Excel-filer) för att skicka in resultaten i rätt format

Personal (minst 2 personer)

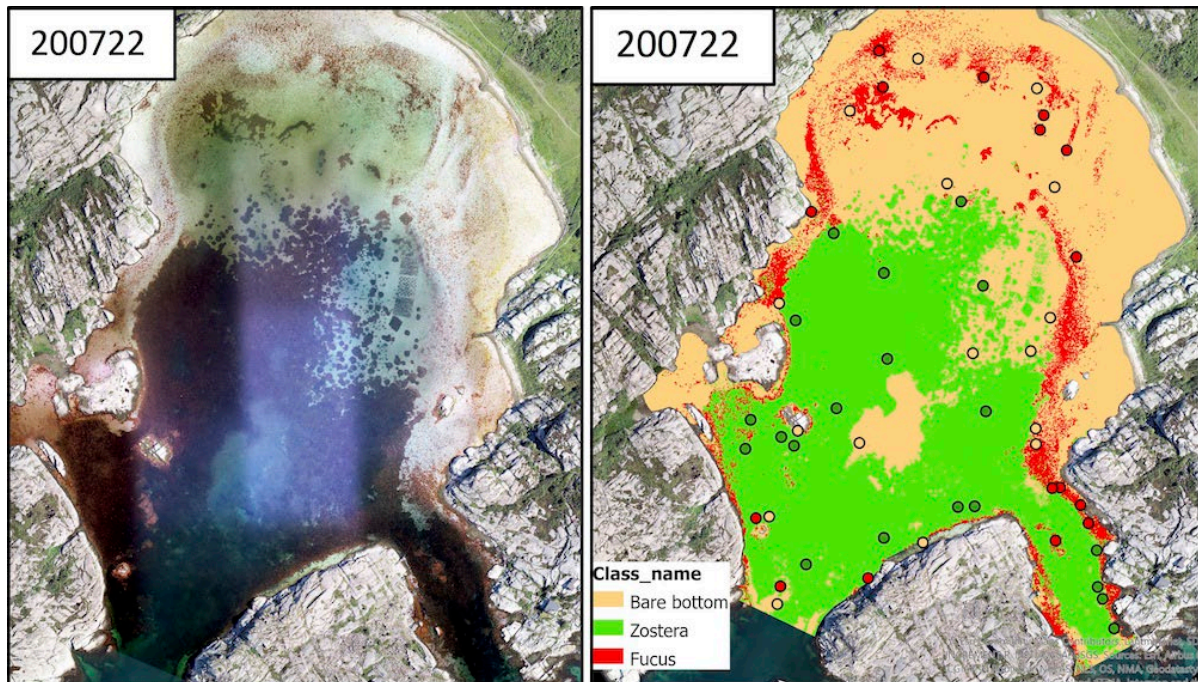
- Båtförare som även läser GPS och ekolod, samt för protokoll.
- "Provtagare" som visuellt bestämmer botten typer och habitat-typer med hjälp av vattenkikare, dropvideo eller snorkling.

6.2. Fältreferenspunkter - syfte och bakgrund

Huvudsyftet med provtagningen är att tillhandahålla data (d.v.s. beskrivning av bottenhabitat och positioner) för att kunna klassificera olika typer av habitat (t.ex. ålgräsängar, kransalger, drivande algmattor, vegetationsfri sand) i drönbilderna. Fokus för provtagningen är därför att identifiera vad som syns från luften (och inte vad som finns under växtligheten). För att säkerställa att fältdata stämmer överens med drönbilden bör proverna tas i ett habitat som har en radie av minst 1 meter och med god marginal från kanten av habitatet för att undvika att GPS:ens felmarginall anger en position för provet som är utanför habitatet på ortofotot. Storleken av habitatet och precisionen på var punkten placeras i det behöver vara i relation till noggrannheten på GPS:en. En GPS med hög precision som till exempel en RTK-GPS ger exaktare data till drönbilden. Det provtagna habitatet behöver dock inte nödvändigtvis vara homogent och bestå av endast en typ av habitat, utan kan bestå av t.ex. stort antal små fläckar av olika livsmiljöer (t.ex. små stenar med alger, små fläckar av vegetation etc.) separerade av sand eller lerbotten, som tillsammans utgör en större habitat-typ som ger ett liknande intryck på drönbildot. Detta måste dock noggrant noteras i protokollet.

Antalet typer av habitat varierar mellan havsområden, men kan oftast generaliseras till Västkusten, Egentliga Östersjön och Bottenhavet. Beroende på havsbassäng så kan ett anpassat protokoll användas för att provtagningen ska bli effektiv, se bilaga för exempel. När du bestämmer habitatstyper ska du tänka på om det du ser på botten kommer att ge ett annat intryck (t.ex. färg och textur) i drönbilden. Till exempel kommer en ålgräsäng med stora mängder epifytiska alger att se annorlunda ut jämfört med en ren äng. Med anledning av detta är det viktigt att samla in data från båda typerna av äng. Det är också viktigt att föra anteckningar om mängden epifytiska alger. På samma sätt kommer en vegetationsäng på 0,5 och 3,0 m djup att ha olika färger i bilden och det är därför viktigt att ta prover på olika djup från samma habitat. För att få en bra klassificering i

bildanalyserna behövs minst 7-10 prover av varje habitat-typ. Planera därför att ta minst 30, men helst över 50 fältreferenspunkter från varje vik, även när de är små (Figur 8).



Figur 8: Till vänster: ortomosaik av drönarfoton från Gåsö, 20 juli 2020. Till höger: uppskattad areell utbredning av de tre habitat-typerna: vegetationsfri botten, ålgräs (*Zostera*) och algmatta (*Fucus*) efter klassificeringen av ortofoto med hjälp av 52 fältreferenspunkter (färgade prickar).

6.3. Tillvägagångssätt vid provtagningen

Provtagningen av habitat-typer bör utföras med hjälp av "stratifierad stickprovstagning", där viken delas in i till exempel 10 stora rutor med 5 stickprov i varje (så att det totalt blir ca 50 stickprov). Stratifieringen kommer att säkerställa att hela provområdet (viken) inkluderas i provtagningen, medan de slumpmässiga proverna hjälper att provta habitat-typerna i proportion till hur vanliga de är (vilket är viktigt när man ska uppskatta klassificeringens noggrannhet). I praktiken är dock proverna inte riktigt slumpmässiga eftersom de inte bör tas vid kanterna av habitat-typerna, och ibland är det även nödvändigt att leta efter ovanliga habitat-typer som anses viktiga (t.ex. mattor av drivalger) för att få tillräckligt antal prover av varje förekommande habitat-typ i viken. Tillgång till ortofoto över området ger en överblick av förekommande habitat och rekommenderas för utläggning av prover. Ortofoto från tidigare år kan användas (om det inte finns för det aktuella året) men man bör förstås beakta att förändringar i utbredning kan ha skett och vara beredda att sprida ut punkterna mer.

Provtagningen utförs genom att uppsöka varje provruta i tur och ordning och välja dominerande habitat-typer. Beroende på siktdjupet görs observationerna med vattenkikare eller dropvideo. I grunda områden kan den person som utför fältprovtagningen ("provtagaren") normalt se botten utan vattenkikare och hjälpa båtföraren att navigera till de olika habitat-typerna. När båten är inom habitat-typen och inte för nära dess kant, saktar den ner, varefter provtagaren använder vattenkikaren för att observera vilken typ av botten och habitat som återfinns på en observationspunkt med minsta radie 1 meter för de detaljerade data som efterfrågas i protokollet.

Observationerna rapporteras till båtföraren som tar en GPS-position (waypoint) och antecknar vattendjup från ekolodet samt fyller i övriga uppgifter i protokollet. Provtagningen i grunda eller mer otillgängliga områden kan med fördel genomföras från SUP bräda med snorklare i vattnet.

Protokoll för insamling av referenspunkter finns som bilagor till huvudrapporten för marin fjärranalys. Separata protokoll har använts för olika havsbassänger och två exempel har därför valts ut.

7. Bilagor och ytterligare information

Bilagan "Lathund för DJI Phantom", som stegvis beskriver användningen av drönaren DJI Phantom i grunda havsvikar, finns tillgänglig på begäran. Kontakta Länsstyrelsen i Västerbotten för mer information. Instruktioner för att skapa ortomosaiker i Agisoft och analysera drönarbilder i ArcGIS Pro, samt exempel på fältprotokoll, har inkluderats som bilagor till huvudrapporten.

8. Referenser och rekommenderad läsning

- Abdi, J., & Johansson, J. (2020). Georeferering av ortofoton med UAV. Examensarbete, Högskolan i Gävle.
- Ortega-Terol, D., Hernandez-Lopez, D., Ballesteros, R., & Gonzalez-Aguilera, D. (2017). Automatic hotspot and sun glint detection in UAV multispectral images. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *17*(10), 2352. <https://doi.org/10.3390/s17102352>
- Doukari, M., Batsaris, M., Papakonstantinou, A.G., & Topouzelis, K.N. (2019). A protocol for aerial survey in coastal areas using UAS. *Remote. Sens.*, *11*(16), 1913. <https://doi.org/10.3390/rs11161913>
- Infantes, E. (2019). Manual for mapping Swedish coastal habitats using drones. Opublicerad rapport. Göteborgs universitet.
- Joyce, K.E., Duce, S., Leahy, S.M., León, J., & Maier, S.W. (2019). Principles and practice of acquiring drone-based image data in marine environments. *Marine and Freshwater Research*, *70*(7), 952-963. <https://doi.org/10.1071/MF17380>
- Lantmäteriet. (2013). *Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik, Kapitel 13-15*. (version 2013-10-28) https://www.lantmateriet.se/globalassets/om-lantmateriet/var-samverkan-med-andra/kompendium_131028_kap13-15.pdf
- Markelin, L. (2020). *Preliminary survey: literature review of shallow water marine habitat mapping with drones, and plans for drone imaging and field sampling at Vaasa*. NLS, Finnish Geospatial Research Institute.
- Mount, R. (2005). Acquisition of through-water aerial survey images: Surface effects and the prediction of sun glitter and subsurface illumination. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, *71*(12), 1407-1415. <https://doi.org/10.14358/PERS.71.12.1407>
- Over, J.R., Ritchie, A.C., Kranenburg, C.J., Brown, J.A., Buscombe, D., Noble, T., Sherwood, C.R., Warrick, J.A., & Wernette, P.A. (2021). *Processing coastal imagery with Agisoft Metashape Professional Edition, version 1.6: Structure from motion workflow documentation*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2021-1039. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/ofr20211039>
- Slocum, R.K., W. Wright, C. Parrish, B. Costa, M. Sharr, & T.A. Battista. (2019). Guidelines for bathymetric mapping and orthoimage generation using sUAS and SfM: An approach for conducting nearshore coastal mapping. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 265. National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://doi.org/10.25923/07mx-1f93>
- Taddia, Y., Stecchi, F., & Pellegrinelli, A. (2020). Coastal mapping using DJI Phantom 4 RTK in post-processing kinematic mode. *Drones*, *4*(2), 9. <https://doi.org/10.3390/drones4020009>

Marin Fjärranalys Bilaga 2

Protokoll för fältreferenspunkter (ground truth) i Östersjön

Det är viktigt att tidpunkten mellan insamling av ortofoto och inventeringsdata inte är för lång så att förhållandena hinner ändras, exempelvis att växtlighet flyttas på grund av stormar, siktdjupet förändras eller annan fysisk påverkan.

För analys av drönbilder bör provpunkterna tas så att punkten har en radie om minst en meter med samma habitat. Undvik gränzoner, det gör bildanalysen svårare. Tänk på att om inte RTK används så har GPS-signalen bara ca 8 meters noggrannhet!

Fältdata som är viktigt:

- Djup
- Mjuk/hårdbotten
- % barbotten/% vegetation
- Epifyternas täckning
- Art eller artgrupp av vegetation och deras täckning av botten. Artupplösningen är upp till havsområde och vad som ska analyseras i bilden.
- Algmattor, förankrad eller lösdrivande vegetation

Nedan är exempel på digitalt protokoll i Field Maps samt ett manuellt protokoll.

Field Maps-protokoll

Variable	Value or unit	Description
Inventor	Name	Name of inventor
Date	Date	
DHI	Name	Name of area according to DHI
Area	Name	Name of area
Method	Dropvideo/aquascope/snorkeling	Method of sampling data
Ortophoto	Name	Name of ortophoto created of drone pictures
Rectified	R/G/O	R=rektifierat (RTK) G=georektifierat med landmärke/markstödspunkt O=orektifierat
Weather	Overcast/Cloudy/Sunny	Amount of clouds
Wind speed	m/s	
Wind direction	S/SO/O/NO/N/NV/V/SV/	
Water level	cm	Water level compared to mean
WPT	Coordinates	Waypoint taken with RTK
Depth	m	

Variable	Value or unit	Description
Soft bottom	%	Proportion of soft bottom in entire sample area (incl. vegetation covered parts)
Hard bottom	%	> 600 mm / diameter
Boulder	%	200 – 600 mm
Big rocks	%	60 - 200 mm
Rocks	%	20 – 60 mm
Gravel	%	2 - 20 mm
Sand	%	0 – 2 mm
Clay	%	
Radius	m	Radius of sample area
Bare bottom	%	How much of the bottom that is bare
Vegetation	%	How much of the bottom that is vegetated
Algal mat	%	Coverage of free floating algal mat
Algae mat type	Ex. <i>Fucus</i> / <i>F.lumb.</i> /Characeae/	Type of algae mat
Epiphyte	Nothing covered/Little covered/Partly covered/Mostly covered/Totally covered	Filamentous algae that grows on vegetation
Sedimentation	Nothing covered/Little covered/Partly covered/Mostly covered/Totally covered	Sediment covering the plants
Rhodophyta	%	Red algae. Percentage of the vegetated area with this algae/plant.
Characeae	%	Charophyte green algae. Percentage of the vegetated area with this algae/plant.
<i>F. lumb.</i>	%	<i>Furcellaria lumbricalis</i> . Percentage of the vegetated area with this algae/plant.
<i>C. tenu.</i>	%	
<i>Z. mari.</i>	%	<i>Zostera marina</i> . Percentage of the vegetated area with this algae/plant.
<i>F. vesi.</i>	%	<i>Fucus vesiculosus</i> . Percentage of the vegetated area with this algae/plant.
<i>S. pect.</i>	%	<i>Stuckenia pectinate</i> . Percentage of the vegetated area with this algae/plant.
<i>P. perf.</i>	%	<i>Potamogeton perfoliatus</i> . Percentage of the vegetated area with this algae/plant.
<i>N. mari.</i>	%	<i>Najas marina</i>
<i>M.edul.</i>	%	<i>Mytilus edulis</i>
Filamentous green	%	Anchored filamentous green algae
Filamentous brown	%	Anchored filamentous brown algae
Comments		Free text – but only English alphabet

Manuellt protokoll

Area ID: Kalmarsund Extra

Date: 2020-10-01

Conditions: Windy, 5 m/s SW

Method: Dropvideo & aquascope

Station	Y_coord	X_coord	WP	Depth	Bottom		Anchored vegetation (%)					Epiphytes	Algal mat			Comments
					Type_bott	Perc_bott	Zost	Fuc	Stuck	Oth	Perc_oth	Epip	Mat_Pos	Mat_type	Perc_mat	
K1	6291172	588997	K91	2,4	S		50		10	Fintr grön	20	1				
K1	6291180	588970,1	K92	1	H					Fintr grön	90	1				
K1	6291190,5	588970,1	K93	4,2	S/H	90/10		10	5	Fintr grön	75	1				sandbotten med stora block
K1	6291162,5	588975,1	K94	2,5	S				10	Fintr grön	50	1				grönt mellan Zostera, inte påväxt
K1	6291175,2	588970,5	K95	1,8	S/H	80/20	10		60	Fintr grön	10	1				
K1	6291160	588977,3	K96	0,9	H				50			1				
K1	6291155	588980	K97	0,5	H			10		Cladoph.	90	1				
K1	6291217	5889760	K98	0,4	S				25	P. perf.	10	2				
K1	6291201	588961,9	K99	0,8	S				70	P. perf.	25	3				
K1	6291172	588972	K100	1,3	S		50		10	Elodea	5	4				

Protokoll fältkontroll Drönare Västkusten

Page:

Provtagningslokal & nummer: _____

Datum _____ Start tid _____ Slut tid: _____

Förhållanden: _____

Metod: _____

Instrument: _____

WP	Djup	Botten (%)				Fastsittande vegetation (%)						Dens	Epifyter			Algmatta				Kommentarer				
		S	L	H	Ste	Zost	Rup	Cho	Fuc	Sar	Sac		B	G	R	Fuc	Fu	B	G		R	Pos		

Bilaga 3a sida 1. Protokoll för insamling av fältreferenspunkter i Västerhavet i utskriftsvänligt format, inklusive ett exempel på hur det kan fyllas i.

Protokoll fältkontroll Drönare Västkusten

Provtagningslokal & nummer: Gåsö (2.5)

Page:

Datum July 12, 2020 Start tid 14.30 Slut tid: 16.00

Asc = *Ascophyllum nodosum* brown algae

förhållanden: Sunny with a mild SW breeze (3-5 m/s)

Metod: Sonar, aquascope 0-2 m; drop-video >2 m depth

Instrument: Hummingbird Helix 7 sonar GPS with down scan and side scan. Seaviewer drop video

WP	Djup	Botten (%)				Fastsittande vegetation (%)							Epifyter			Algmatta					Kommentarer					
		S	L	H	Ste	Zost	Rup	Cho	Fuc	Sar	Sac	Dens	B	G	R	Fuc	Fu	B	G	R		Pos				
27	1.2	100																						<5% driftalgae (Fuc)		
28	0.5								100					L											Small fucus plants on rocks covering ca 20% of the bottom	
29	1.6					100								H											Healthy, dens meadow	
30	2.2					80								H	20										Likely 100 eelgrass under fil algae	
31	1.7					40								H						Surf		60	G	Surf	Likely 100% eelgrass under mat	
32	1.3																			90	10		Fuc	Bot	F. serratus mat with smaller amounts of Furcellaria	
33	2.4					60		20						D	20										Dens eelgrass mixed with filalgae and Chorda (i.e. likely 100% Zost)	
24	1.6					100								M											Healthy, dens meadow	
25	2.2					80								H	B		20								Likely 100 eelgrass under fil algae	
26	1.7					40								H						Surf			G	60	Likely 100% eelgrass under mat	
27	1.2		30			30	40							L											Patchy distribution of Zost and Rupp	
28	1.4		50			50								M											Sparse (gles) vegetation of Zost	
29	2.4					60		20						H	B		20								Dens eelgrass mixed with filalgae and Chorda (i.e. likely 100% Zost)	
36	3.5		20			60								H	B		20								Sparse (gles) Zost with fil algae	
37	4.5		100																						Just outside the deep edge of the meadow	
38	1.2		20						50			30		H											Brown algal belt fringing the rocky shore	

Riktlinjer för provtagning av ålgräsets djuputbredning - svenska Västkusten

Maximal djuputbredning av ålgräs

I samband med insamlingen av kontrolldata för drönanalys bör även data på ålgräsets maximala djuputbredning inhämtas. Se bilaga 1 för utförlig lista över utrustning och dylikt. Djuputbredningen speglar vikens ljusförhållanden och vattenkvalitet och används inom miljöövervakningen. Den maximala djuputbredningen definieras som det djup då täckningen av ålgräs är >10 %. På västkusten är ålgräsängarnas djupkant ofta väldefinierade och relativt lätta att hitta.

Att utföra provtagningen

Den maximala djuputbredningen av ålgräset hittas med hjälp av båtens ekolod. Nedre delen av ålgräsängen kan lokaliseras genom att långsamt köra från den grunda till den djupa delen av viken. En ålgräsäng ger oftast en tydlig signal på ekolodet som vanligtvis är lätt att separera från sedimentbotten. När signalen från ängen försvinner, tas en GPS-position och bottendjupet från ekolodet noteras i protokollet. Efter detta vänds båten och körs i ”sicksacka” över ängens djupkant. På detta sätt görs ytterligare minst 7 mätningar längs vikens öppning. Vid varje tillfälle noteras också höjden på ålgräset, vilket också kan avläsas från ekolodet. Vid minst två tillfällen i varje vik verifieras att det verkligen är ålgräs som syns på ekolodet genom att använda drop-video eller vattenkikare.

Ekolodets mätfel och vattennivån

Eftersom ekolodet normalt är placerat i båtens underkant underskattas djupet. Båtens djupgående och ekolodets position beror också på hur tungt båten är lastad och dess hastighet. För att korrigera för detta måste felet mätas. Detta görs genom att sänka ett måttband till botten för att mäta djupet. Det uppmätta djupet kan sedan jämföras med det djup som ekolodet anger för att uppskatta skillnaden. För att inte påverka mätningen är det viktigt att all personal har samma position i båten som vid normala ekolodsmätningar. Om ekolodets djup är 4,3 m och det uppmätta djupet är 4,72 m är felet -0,42 m. Detta fel ska noteras i protokollet.

Dessutom behöver data för ålgräsets djuputbredning anpassas till vattenståndet vid mättillfället, vilket ska noteras i protokollet. Genom Sjöfartsverkets app Viva kan du få tillgång till lokala vattenståndsmätningar. Det är även möjligt att inhämta vattenståndsinformationen i efterhand. Om vattenståndsdata ska inhämtas i efterhand är det extra viktigt att tidpunkten för djupmätningarna är antecknade i protokollet.

Fyll i protokollet

Data från ålgräsets maximala djuputbredning fylls i ett separat protokoll (se fliken "Maxdjup ålgräs i dokumentet Protokoll Fältkontroll drönare & Maxdjup.xlsx). Utöver denna information är det viktigt att notera den exakta tiden då djupmätningarna startar och slutar i varje vik. Denna information används för att inhämta de vattenståndsdata som behövs för att korrigera mätningarna av ålgräsets djuputbredning. Ekolodets märke, det uppmätta mätfelet för ekolodet (se ovan) och vattenståndsdata, tid och källa ska också fyllas (se fliken Exempel maxdjup ålgräs).

Viktigt – justera inte ålgräsets djuputbredning direkt i protokollet. I syfte att bevara rådata ska djupmätningarna från ekolodet, ekolodets mätfel och vattenståndsdata anges separat. Ålgräsets djuputbredning kan sedan räknas ut i efterhand genom att använda dessa uppgifter.

Förbereda databladet för leverans

När provtagningen är klar ska all data från protokollen överföras till en Excelfil för leverans (se Max djup ålgräsdata Leverans.xlsx). Här ska du även inkludera GPS-positionerna (latitud och longitud i WGS84 decimal, decimalgrad). Viktigt att bekräfta formatet på positionerna i databladet (se fliken Exempel i dokumentet).

Protokoll Maximal djuputbredning ålgräs

Provtagningslokal & nummer: _____

Datum _____

Start tid _____ Slut tid _____

Väderförhållanden: _____

Ekolod (märke, modell): _____

Ekolod djup-fel (skillnad mellan ekolod- and måttbandsmätt djup) _____ m

Vattenstånd _____ m, vid tidpunkt _____ från (källa) _____

#	WP	Djup (m)	Z höjd (m)	Kommentarer
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

WP = GPS waypoint

Djup = maximal djuputbredning av ängen (>10% täckningsgrad)

Z höjd = maximal höjd på ålgräsängen nära utbredningskanten (mätt med ekolod)

Protokoll Maximal djuputbredning ålgräs

Provtagningslokal & nummer: 2.5 Gåsö (2.5Gas)

Datum 22/7 2020

Start tid 14.50 Slut tid 15.30

Väderförhållanden: Sunny with a mild SW breeze (3-5 m/s)

Ekolod (märke, modell): Hummingbird Helix 7

Ekolod djup-fel (skillnad mellan ekolod- and måttbandsmätt djup) -0.42 m

Vattenstånd -0.32 m, vid tidpunkt 15.55 från (källa) Viva: Stengungsund (S)

#	WP	Djup (m)	Z höjd (m)	Kommentarer
1	39	4,3	0,6	Clear edge of meadows on all transects
2	40	4,7	0,7	
3	41	4,1	0,5	
4	42	4,4	0,9	
5	43	4,3	0,8	
6	44	3,9	0,4	
7	45	4,4	0,9	
8	46	4,2	0,7	
9				
10				

WP = GPS waypoint

Djup = maximal djuputbredning av ängen (>10% täckningsgrad)

Z höjd = maximal höjd på ålgräsängen nära utbredningskanten (mätt med ekolod)

Bilaga 5a sida 2. Protokoll för insamling av djuputbredningsdata i Västerhavet i utskriftsvänligt format, inklusive ett exempel på hur det kan fyllas i.

Maximal djuputbredning ålgräs

Provtagningslokal & nummer:

Datum och tid

Väderförhållanden:

Metod:

Instrument

Format på positioner:

Sonar djup-fel

Vattenstånd/tid/källa

Nr	Position			Max djup (m)				Z höjd (m)	Comments
	WP	Latitude	Longitude	Measured_maxdepth	Sonar_error	Water_level	Corr_max depth	Can_height	
1	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
2	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
3	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
4	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
5	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
6	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
7	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
8	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
9	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
10	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
11	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
12	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
13	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
14	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
15	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
16	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
17	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
18	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
19	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-
20	0	0,000000	0,000000	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	-

Dynamic fields

Bilaga 5b sida 1. Översikt av protokoll för insamling av djuputbredningsdata i Västerhavet i digitalt form, inklusive ett exempel på hur det kan fyllas i. Protokollet är dynamiskt och räknar ut ett korrigerat djupvärde baserat på mätvärdet, sonar djup-felet och vattenståndet.

Maximal djuputbredning ålgräs

Provtagningslokal & nummer: 2.5 Gåsö (2.5Gas)
Datum och tid 22/7 2020 kl: 14:50-15:30
Väderförhållanden: Sunny with a mild SW breeze (3-5 m/s)
Metod: Sonar and drop-video
Instrument Hummingbird Helix 7 sonar GPS with down scan. Seaviewer drop video
Format på positioner: WGS84 decimal
Sonar djup-fel -0,42
Vattenstånd/tid/källa -0,32 15,55 Viva: Stengungsund (SMHI)

Nr	WP	Position		Max djup(m)				Z höjd (m)	Comments
		Latitude	Longitude	Measured_maxdepth	Sonar_error	Water_level	Corr_max depth	Can_height	
1	39	58,232403	11,397586	4,3	-0,42	-0,32	5,04	4,3	Clear edge of meadows on all transects
2	40	58,232245	11,399431	4,7	-0,42	-0,32	5,44	4,7	-
3	41	58,231556	11,400547	4,1	-0,42	-0,32	4,84	4,1	-
4	42	58,230794	11,398830	4,4	-0,42	-0,32	5,14	4,4	-
5	43	58,229805	11,397060	4,3	-0,42	-0,32	5,04	4,3	-
6	44	58,229794	11,400268	3,9	-0,42	-0,32	4,64	3,9	-
7	45	58,229805	11,397060	4,4	-0,42	-0,32	5,14	4,4	-
8	45	58,229031	11,401588	4,2	-0,42	-0,32	4,94	4,2	-
9	0	0,000000	0,000000	0,0	-0,42	-0,32	0,74	0,0	-
10	0	0,000000	0,000000	0,0	-0,42	-0,32	0,74	0,0	-
11	0	0,000000	0,000000	0,0	-0,42	-0,32	0,74	0,0	-
12	0	0,000000	0,000000	0,0	-0,42	-0,32	0,74	0,0	-
13	0	0,000000	0,000000	0,0	-0,42	-0,32	0,74	0,0	-
14	0	0,000000	0,000000	0,0	-0,42	-0,32	0,74	0,0	-
15	0	0,000000	0,000000	0,0	-0,42	-0,32	0,74	0,0	-
16	0	0,000000	0,000000	0,0	-0,42	-0,32	0,74	0,0	-
17	0	0,000000	0,000000	0,0	-0,42	-0,32	0,74	0,0	-
18	0	0,000000	0,000000	0,0	-0,42	-0,32	0,74	0,0	-
19	0	0,000000	0,000000	0,0	-0,42	-0,32	0,74	0,0	-
20	0	0,000000	0,000000	0,0	-0,42	-0,32	0,74	0,0	-

Dynamic fields

Bilaga 5b sida 2. Översikt av protokoll för insamling av djuputbredningsdata i Västerhavet i digitalt form, inklusive ett exempel på hur det kan fyllas i. Protokollet är dynamiskt och räknar ut ett korrigerat djupvärde baserat på mätvärdet, sonar djup-felet och vattenståndet.

Skapa ortofoton från drönbilder i Agisoft Metashape Professional

Ortofoton kan skapas var för sig eller i "batcher" om ett eller flera områden. För mer detaljer, se PDF-lathundarna.

Skapa individuella ortofoton (HP)

1. Öppna Agisoft och spara projektet, namnge på lämpligt sätt.
2. Importera drönbilder. Gå till Workflow > Add folder... och navigera till mappen där drönbilderna ligger. Importera.
3. Gå till Workflow > Align photos. Välj inställningar (se PDF). Detta steg tar lång tid.
4. Byt vy från Workspace till References, högerklicka på någon av de cameras som finns. Välj Estimate image quality... och Apply to all cameras. Kör.
5. I Photos-panelen har nu kolumnen Quality blivit ifylld. Sortera efter Quality genom att klicka på kolumnrubriken, från lägst till högst. Cameras med quality < 0.5 ska inte inkluderas i vidare analys. Markera dem, högerklicka och välj "Disable cameras".
6. Optimera bilderna genom att navigera till Tools > Optimize cameras... och välj "Adaptive camera model fitting". Kör.
7. Filtrera med Model > Gradual selection... Välj Criterion: Reprojection error och Level: 0.5. Kör. Om det finns punkter utanför denna gräns kommer det synas i nedersta vänstra hörnet av Model-panelen. Tryck Delete på tangentbordet för att ta bort dem, alternativt Edit > Delete selection.
8. Build dense cloud genom att gå till Workflow > Build dense cloud. Välj inställningar (se PDF) och kör. Detta steg tar lång tid.
9. Filtrera dense cloud genom Tools > Dense cloud > Filter by confidence... Sätt range till min 0, max 1. Kör.
10. Om nödvändigt, inspektera dense cloud för att se om ytterligare punkter behöver tas bort. Se PDF för mer detaljer.
11. Om det finns bilder som inte har blivit aligned behöver man forcera det för att kunna använda dem i det slutgiltiga ortofotot.
Vill man vara extra noga kan man inspektera bilderna först för att se om det är något uppenbart fel med dem, t ex mycket solglimtar eller fel orientering. För att göra det kan man sortera efter Aligned i rutan Photos och dubbelklicka på de bilder som inte har ett kryss. För att forcera alignment: Tools > Run script... och välj skriptet RegionControl.py från datorn (detta förutsätter att du har filen sparad; ladda ner [här](#)). Låt Arguments vara tomt. Kör.
12. Build mesh genom Workflow > Build mesh... och välj inställningar (se PDF). Kör.
13. Build orthophoto genom Workflow > Build orthophoto... och välj inställningar (se PDF). Kör. Detta steg tar ganska lång tid.
14. Exportera ortofotot genom att navigera till Workspace. Högerklicka på Orthomosaic > Export orthomosaic > Export JPEG/TIFF/PNG... För inställningar, se PDF. För att få högsta möjliga upplösning, ändra inte pixelsize. Klicka OK och välj lämplig plats + namn.

Skapa ortofoton i batch (HP)

För detta behövs en batch-processing fil med förbestämda inställningar:

Batch_HP_Opti_Align_Densecloud_Mesh_Ortho_Export_221024.xml

1. Öppna Agisoft och spara projektet, namnge på lämpligt sätt.
2. Importera drönbilder. Här finns två sätt:
 - a. Om alla områden ligger som undermappar i samma mapp, välj Workflow > Add folder... och navigera till mappen som innehåller undermapparna. Importera. I dialogrutan som kommer upp, välj "Create chunk from each subfolder" och klicka OK. Detta skapar separata chunks i ditt workspace som har namn efter respektive undermapp.
 - b. Om områdena ligger utspridda behöver man skapa nya chunks manuellt. Högerklicka i ditt workspace, välj Add chunk. Högerklicka på den nya chunken, välj Rename... och skriv in namnet på området manuellt. Importera genom Workflow > Add folder... (givet att alla bilder ligger i samma mapp) och välj den mapp som innehåller områdets drönbilder. Importera. I dialogrutan som kommer upp finns det bara ett alternativ (Add all images to one chunk). Klicka OK.
3. Ortofoton som skapas från varje chunk kommer få namn från respektive chunk. Dubbelkolla därför att namnen är rätt; byt genom att högerklicka på chunken och Rename...
4. Navigera till Workflow > Batch process... Ladda in processfilen med inställningar genom att klicka på mappen i nedersta högra hörnet och välj Batch_HP_Opti_Align_Densecloud_Mesch_Ortho_22902.xml. Klicka OK.
5. Kryssa i Align Photos och avmarkera alla andra. Se till att "Save project after each step" är ikryssat.
6. Klicka OK. När processen är klar (detta steg tar lång tid), klicka Close för att stänga dialogrutan.
7. Byt vy till Reference (nedersta vänstra hörnet, bredvid Workspace). Högerklicka på en av bilderna under Cameras-panelen till vänster. Välj Estimate image quality...
8. Välj Entire workspace. Klicka OK.
9. När processen är klar har kolumnen Quality fyllts i under Photos-panelen. Klicka på kolumnnamnet för att sortera från lägsta till högsta. Markera de bilder som har Quality < 0.5 (om någon), högerklicka, och välj Disable cameras.
10. Upprepa steg 9 för alla Chunks.
11. Gå tillbaka till batch-vyn (Workflow > Batch process...) och kryssa endast i Optimize Alignment. Klicka OK och sedan Close när processen är färdig.
12. Under Model > Gradual selection... välj Criterion: Reprojection Error och Level: 0.5. I modellpanelens vänstra nedersta hörn har nu (troligtvis) några punkter markerats. Ta bort dem genom att trycka Delete på tangentbordet eller Edit > Delete selection.
13. Upprepa steg 12 för alla Chunks.
14. Öppna batch-vyn igen (Workflow > Batch process...) och kryssa endast i Build Dense Cloud. Klicka OK och sedan Close när processen är färdig. Detta steg tar lång tid.
15. Filtrera genom att gå till Tools > Dense cloud > Filter by confidence... Sätt range till min 0, max 1. Klicka OK.
16. Upprepa steg 15 för alla Chunks.
17. Inspektera dense point cloud för att se om ytterligare punkter behöver tas bort. Se PDF-lathunden för mer detaljer. Gör detta för samtliga Chunks om det behövs.
18. I Photos-panelen, klicka på kolumnrubriken Aligned för att sortera och se om det finns bilder som inte blivit aligned. Om så är fallet, gå till Tools > Run script... och öppna skriptet RegionControl.py (kan laddas ner [här](#)). Klicka OK.

19. Ett nytt alternativ poppar upp i bandmenyn. Gå till Custom menu > Apply Vertical Camera Alignment och klicka på det.
20. Upprepa steg 18-19 för alla Chunks.
21. Inspektera modellvolymen så att alla ortofoton täcks, modifiera om nödvändigt. Se PDF-lathunden för mer detaljer. Upprepa för alla chunks.
22. Gå till batch-vyn (Workflow > Batch process...) och kryssa i Build mesh, Build orthomosaic, och Export orthomosaic. Dubbelklicka på Export Orthomosaic och se till att exportvägen är korrekt så att de hamnar på rätt ställe. Klicka OK för att stänga, och sedan OK igen för att köra.

Skapa ortofoton i batch (QAD)

För detta behövs en batch-processing fil med förbestämda inställningar:

Batch_QAD_allt_i_en_map220809.xml

1. Öppna Agisoft och spara projektet, namnge på lämpligt sätt.
2. Importera drönarbilder. Här finns två sätt:
 - c. Om alla områden ligger som undermappar i samma mapp, välj Workflow > Add folder... och navigera till mappen som innehåller undermapparna. Importera. I dialogrutan som kommer upp, välj "Create chunk from each subfolder" och klicka OK. Detta skapar separata chunks i ditt workspace som har namn efter respektive undermapp.
 - d. Om områdena ligger utspridda behöver man skapa nya chunks manuellt. Högerklicka i ditt workspace, välj Add chunk. Högerklicka på den nya chunken, välj Rename... och skriv in namnet på området manuellt. Importera genom Workflow > Add folder... (givet att alla bilder ligger i samma mapp) och välj den mapp som innehåller områdets drönarbilder. Importera. I dialogrutan som kommer upp finns det bara ett alternativ (Add all images to one chunk). Klicka OK.
3. Ortofoton som skapas från varje chunk kommer få namn från respektive chunk. Dubbelkolla därför att namnen är rätt; byt genom att högerklicka på chunken och Rename...
4. Navigera till Workflow > Batch process... Ladda in processfilen med inställningar genom att klicka på mappen i nedersta högra hörnet och välja Batch_QAD_allt_i_en_map220809.xml. Klicka OK.
5. Kryssa i samtliga steg (Align Photos, Build Mesh, Build Orthomosaic, Export Orthomosaic). Kryssa i Save project after each step.
6. Dubbelklicka på Export Orthomosaic och sätt exportvägen till lämplig plats. Klicka OK för att stänga, och klicka sedan OK för att köra processen.

Marin Fjärranalys Bilaga 7

Instruktioner för drönarbilsanalys

Ortofoton kan skapas var för sig eller i "batcher" om ett eller flera områden. För mer detaljer, se PDF-lathundarna.

Drönarbilsanalys

1. Ta fram ortofotot som bildanalysen ska göras på
2. Skapa en mask för vattenytan.
 - a. Skapa en databas (skapas ofta automatiskt när man startar ArcGIS pro).
 - b. Skapa en feature, polygon.
 - c. Rita ut vattenytan (kan ta hjälp av strandlinjen och kanten av ortofoto där det går).
 - i. Utgå ifrån tidigare års analyser för avgränsningar
 - ii. Utgå ifrån referenspunkter.
 - iii. Gå inte in längre än 1:2000, försök hålla den enkel (inte för mkt detaljer men värt att ta bort blanka/vita ytor)
3. Klipp ortofotot efter vattenmasken, t.ex. med verktyget Extract by mask eller Clip raster (här kan Extension Spatial analyst behövas aktiveras, gör detta i under Project (fliken längst till vänster) och licensing). Vi rekommenderar att namnge klippta ortofoton med ändelse "vatten"
 - a. Välj ortofotot som indata-skikt
 - b. Välj din nyskapade vattenmask som mask
 - c. Spara utdata i din databas
4. Markera det klippta ortofotot, välj symbology.
 - a. Ändra stretch type till Histogram specifications, ESRI eller annan sträckning som ser ut att fungera bra. "Percent clip" och "Standard deviation" brukar fungera bra.
 - i. Försök hitta en sträckning som inte är för överexponerad samtidigt som den framhäver undervattensvegetationen på ett bra sätt.
5. Segmentera
 - a. Öppna verktyget segmentation, under imagery ->classification tools.
 - i. Välj det klippta ortofotot
 - ii. sätt spectral detail till 20
 - iii. sätt spatial detail till 5 (men kan vara värt att testa 3 - 6)
 - iv. sätt minimum segment size in pixels så att det motsvarar ca 1 m (beroende på pixelstorlek, för 3,5 cm pixlar ca 600)
 - b. Klicka kör.
 - i. För ett mindre område (6 ha) tar det ca 10 min på en laptop.
 - ii. För ett större område (16 ha) tar det 12 min på svarta datorn.
6. Markera segmenteringen för klassning. Öppna Image classification wizard, under imagery.
 - a. Classification method: supervised (default)
 - b. Classification type: Object based (default)
 - c. Classification schema: klicka på pilen ner och välj default (blir då NLCD2011, du kommer att ha möjlighet att ändra detta i nästa steg och sen spara för framtida klassningar).
 - d. Output location: din databas (default)
 - e. Segmented image (den segmentering som du just skapat)

- f. Klicka på nästa.
- g. Nu kan du ändra klasserna (genom att högerklicka på befintlig klass och välja ta bort eller edit). Sätt upp klasser enligt ditt schema.
 - i. Förslagsvis:
 - Vegetationsfri botten (grå, värde 10)
 - Glest vegetationstäckte (gul, värde 20)
 - Vegetationsklädd botten (grön, värde 30)
 - ii. Var försiktig när du flyttar klasser, de flyttas lätt och läggs ovanpå varandra. Om detta händer så "dra ut" dem igen.
 - iii. Välj sen spara som, döp och spara schemat så att du kan använda det igen till nästa område.
- h. Nu kan du börja lägga in träningsytor genom att markera en klass och rita ytor.
 - i. Välj t.ex. segment, polygon eller cirklar för att rita träningsytor.
 - ii. Utgå ifrån dina referenspunkter. Beroende på hur många du har kan du behöva använda dem olika. Har då bara några få punkter t.ex. 7-9 st från en MÖ-vik, kan du behöva använda alla till träning. Optimalt är att ha minst 30 men gärna 50 punkter i ett område och då använda hälften till träning och hälften till utvärdering. Slumpa vilka punkter som används till träning respektive utvärdering. Create Random Points med referenspunkterna som constraining feature class. Select by location och exportera referenspunktlagret
 - iii. Kolla att referenspunkterna ser ut att ligga rätt. Plocka det segment eller rita en egen polygon utifrån referenspunkten. Växla mellan den segmenterade bilden och ortofotot (t.ex. genom swipe eller genom att tända och släcka lagret).
 - iv. Börja med att ha enbart en träningsyta per klass. Välj då ett område med en färg som känns representativa för klassen.
- i. När du känner dig någorlunda nöjd, är det dags för första klassningen. (Om problem med att köra klassningen (error 999999) ta bort filen inter index från databasen. Filen skapas automatiskt vid segmenteringen.)
 - i. klicka på nästa
 - ii. Använd default-inställningarna
 - iii. Klicka run
 - iv. Klassningen tar ca 2-3 min beroende på storlek på området.
 - v. När den är klar så får du upp en temporär klassning.
 - vi. Nu kan du se vad som blev rätt och fel. Börja med att lägga nya träningsytor där det blev fel. Det kan vara värt att skapa exempelvis två klasser för bar botten om utseendet varierar mycket. Detta kan hända när man har djupare delar. .
 - vii. En bra måttstock är ditt öga. Du ser var det blir bra eller dåligt. Du kan även ta hjälp av fältreferenspunkter för att säkra dig att du bedömer rätt. Man kan även titta på cross validation rate som anges efter varje klassning. Cross validation rate anger hur väl avgränsade dina träningsytor är gentemot varandra (spektralt sett). Beroende på område och träningsytor kan denna gå olika lågt.
 - På Västkusten ligger cross validation rate oftast runt 0,98. Om den börjar sjunka under 0,96 kan det vara dags att sluta (enligt Mats).

- På Ostkusten där det oftast är en mer komplicerad bottenvegetation kan cross validation rate gå ner mot 0,85 innan man är klar.
- 7. Du har möjlighet att göra ändringar med Pixel editor (kräver att man aktiverar en licens som heter "Image analyst") i efterhand. Markera din färdiga klassning, välj fliken Imagery, välj verktyget Pixel Editor. Den dyker då upp som en egen flik.
 - a. Välj "Reclassify" och klicka i de classer för Old och New class som du vill ha.
 - b. Välj sedan save as (om man väljer bara save så stor den tydligen bara och snurrar) och spara den i databasen.
- 8. När du sparat klassningen så kan det dyka upp stora rutor utanför det klassade område. Ta bort dessa genom att använda vattensmasken till extract by mask.
- 9. Skapa en resultatmapp, exportera slutresultatet dit som en TIFF.

Noggrannhetsskattning

1. Kontrollera referenspunkterna, ser de rimliga ut. En del kan ha hamnat snett pga. geometriska/georefererings fel.
2. Lägg till ett par fält i attributtabeln för det data som ska användas som referensdata.
 - a. Måste finnas (annars kan inte verktyget update accuracy assessment köras):
 - i. Classified (long), lämnas tom.
 - ii. GrndTruth (long). Samma som classcode, fylls i med search by attribute och calculate field (använd samma classvalue som i resultatrastret från klassningen).
 - b. Valfria:
 - i. Classvalue (valfritt, används bara om värdet skiljer sig från classcode. T.ex. vid finare indelning av vegetationsamhällen i klassningen, men som sen inte ska användas i utvärderingen).
 - ii. Classname (text)
 - iii. Classcode
3. Öppna verktyget Update accuracy assessment points
 - a. Sätt den slutgiltiga klassningen som input raster
 - b. Sätt referensdata (fältdata) som input accuracy assessment points
 - c. Skriv in "Acc_ass" som output
 - d. Target field ska stå kvar som classified
 - e. Klicka run.
4. Öppna verktyget "Compute confusion matrix"
 - a. Sätt Acc_ass som input accuracy assessment points
 - b. Skriv in CM (Confusion Matrix) som output
 - c. Klicka run
 - d. Confusion Matrix skapas som en standalone table och kommer att lägga sig längst ner i contents. Öppna upp och kontrollera värdena.
 - i. Dels hur de olika klasserna hamnat, user/producer accuracy
 - ii. Dels kappavärdet
 1. <0,2 poor
 2. 0,21-0,4 fair
 3. 0,41-0,6 moderate
 4. 0,61-0,8 good
 5. >0,8 very good

Resultatfiler

1. Skapa en resultatmapp
2. Skapa en resultatfil med klassningen i TIFF
3. Skapa resultatfiler PDF
 - a. En med orto
 - b. En med orto + klassning
 - c. En med orto + klassning + referenspunkter

Marin Fjärranalys Bilaga 8

Manual fältprovtagning av ålgräsängars djuputbredning med hjälp av side-scan sonar

Matilda Rasmusen, Henrik Möller, Per-Olav Moksnes Institutionen för Marina vetenskaper, Göteborgs universitet

Utrustning

- Båt
- Little Eye sonar
- Kart- samt programlicens för DeepView
- Fäste för sonaren på båten
- GPS (GPS-mottagare med USB-anslutning som kan kopplas till en fältdator)
- Fältdator (vädertålig).
- Måttband och vikt för att kalibrera sonarens djupmätningar.

Fältprovtagning av ålgräs djuputbredning med sonar

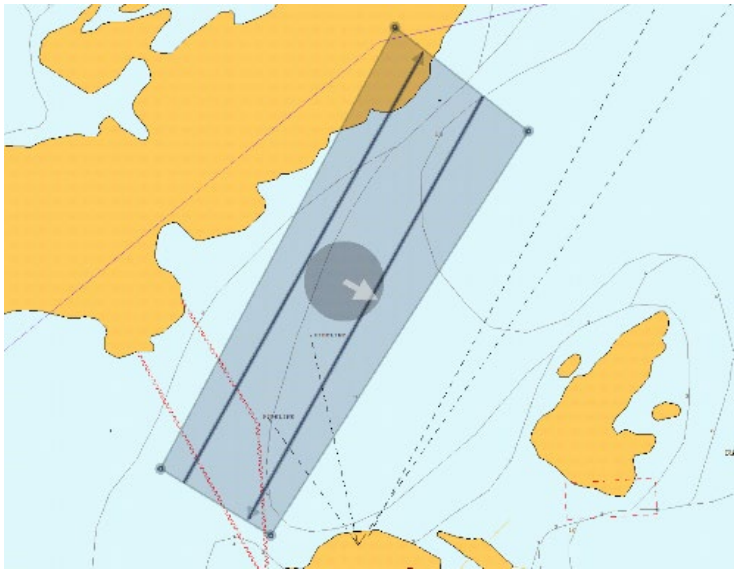
Beskrivning

När man använder sonar som ett verktyg för att kartlägga ålgräsängars djuputbredning består fältprovtagningen av två delar, side-scan och down-scan. Side-scan provtagning innebär att sonaren skickar ut signaler i solfjäderformade pulser i vinkelrät och sidogående riktning mot sensorn för att skapa en bild av botten i transektlinjer. Down-scan provtagning innefattar inhämtning av djupdata, där man endast använder sig av sonarens signaler som skickas i 90° nedåtgående riktning.

Metoden utförs enklast vid lugna vindförhållanden för att kunna manövrera båten i en låg hastighet (1,5knop) i raka transekter, vilket är avgörande för att få en korrekt side-scanbild av ängen. Om man kör side-scan transekterna i en kurva blir sonarbilderna förvrängd. Innan fältprovtagningen är det viktigt att identifiera ålgräsängens djupkant och utbredning för att planera side-scan transekterna så optimalt som möjligt. Detta kan eventuellt göras i förväg med hjälp av tillgängliga satellitbilder/ortofoton, eller via en snabbare inventering med hjälp av båtens ekolod/GPS samt vattenkikare/droppvideo.

Planering av sonarundersökningen (fält eller kontor)

Man börjar sonarundersökningen med att skapa en undersöknings-planering (survey planning) i DeepView programmet (se [Teknisk guideline del I](#) nedan för detaljer). Här skapar man en *transektplan* för hur man kommer att utföra sonar-inventeringen, där man på kartan ritar in transektområde och linjer som utgör riktlinjer vid provtagningen. Detta steg kan utföras både innan och under fältarbetet. Transekter med riktlinjer ritas ut så att dom går längsmed ängskanten för att minimera antalet transekter. Försök att placera transektlinjerna så att åtminstone några linjer hamnar ca 5 m på djupsidan utanför alla delar av ängen för att det ska bli en tydlig illustration av ängskanten.



Figur 1. Exempel på hur en undersöknings-planering ser ut i DeepView med två transektlinjer.

När man planerar sin sonar-undersökning ska man även ha i åtanke att bilderna från side-scan transekterna ska överlappa varandra så att alla delar inventeras. Hur långt sonarsignalerna sträcker sig kan manuellt ändras och beror även på inventeringsdjupet. Ett 10 m överlapp mellan transekterna (5 m åt varje håll) rekommenderas. Vid inventeringar av ålgräsängar har en side-scan bredd på 60 m (30 m på varje sida av båten) visat sig fungera bara. Transektlinjerna bör då ställas in med 50 meters mellanrum för att få en marginal på 5m åt varje sida av transekterna. När detta är gjort har man skapat en undersöknings-planering och kan påbörja side-scan undersökningen.

OBS! Se till att uppdatera datorn innan fätarbetet startas, då uppdateringar kan förhindra COM-portanslutningar mellan DeepView programmet och sonaren.

Fält-del: Side-scan för sonar-mosaik

När provtagningen ska påbörjas (se [Teknisk guideline del II](#) nedan för detaljer), ska sonaren fästas på lämplig plats på båten (helst i fören). Se till att hela sonaren kommer nedanför understa delen av skrovet så att det inte skapas skuggor i side-scan bilden. Undvik att vara för nära båtmotorn då det kan skapas bubblor som stör sonar-signalerna. Anteckna sonarens exakta djup under vattenytan då detta används för att beräkna ett korrekt djup i analysen av datan. Placera helst GPS-mottagare ovanpå sonaren för att få exakt position. Om detta inte är möjligt kan man även kompensera avståndet mellan sonaren och GPS-mottagaren i DeepView programmet. Man kopplar sedan upp sonar och GPS till sin fältdator genom USB-portar varefter man kan se den aktiva position och riktning på ett sjökort samt en live side-scan bild.

OBS! Det är viktigt att stänga av båtens ekolod under provtagning då dess signaler stör provtagningen.

När man påbörjar side-scan undersökning ska man följa sina utritade transekter från undersökningsplaneringen i största möjliga mån. Man börjar spela in side-scan när man kör i en rak transekt i början av sin undersökningsplan och stänger av inspelningen i slutet av samma transektlinje. Att köra båten rakt efter dessa transektlinjer är väsentligt för att få en korrekt avbildning utan förvrängningar i bilden. Det är även viktigt att försöka följa transektlinjerna och få ett överlapp mellan side-scan transekterna så att det inte skapas hål i side-scan mosaiken. Transektlinjerna är dock endast som ett hjälpmedel för din navigation. Om du börjar avvika från linjen är det bättre att ta ett fysiskt riktmärke och fortsätta i en rak transekt som du påbörjat än att

börja göra stora svängar under inspelningen. Fortsätt i stället med din transekt och se till att nästgående transekt överlappar till den förra och ignorera din ordinarie undersöknings-plan. Under tiden man spelar in side-scan så ser man det insamlade side-scan transekterna i fältdatorn, vilket gör att man kan kontrollera att inventeringen får med ålgräsängens djuputbredning eller om man behöver köra komplimenterade transekter för att täcka in hela kanten.



Figur 2. Exempel på hur side-scan data ser ut i två transekter.

Vid inventeringen bör sonarens djup från vattenytan och hur GPS är placerad antecknas för att kompensera djupdata samt positionering i analysen av sonardata. Anteckningar som vilken dag och tid inventeringen påbörjades bör också göras för att kompensera vattenståndet i djupdata för senare analyser. För att undersöka och eventuellt kompensera för eventuella mätfel i djupdata bör det undersökas genom att för hand mäta djupet precis bredvid sonaren med måttband och vikt (i ett stillastående läge).

I slutet av inventeringen kommer man ha fått sina insamlade side-scan transekter som tillsammans skapat en side-scan mosaik som i Figur 2. Med en tydlig ålgräskant synlig i side-scan bilderna kan man gå vidare till down-scan undersökningen för att inhämta djupdata på ängens djuputbredning.

Fält-del: Down-scan för djupdata

För att få djupdata från ålgräskanten behöver man även spela in en down-scan-fil. Det spelas alltid in side-scan och down-scan när man spelar in med sonaren, men down-scan data med information om botten djupet tas endast direkt under sonaren. Därför fås djupinformation av ålgräsängens djuputbredning endast när man passerar djupkanten med båten. För att få bra data på ängens djuputbredning bör därför en separat, kompletterande insamling genomföras för denna. Detta görs bäst genom att köra i ett sicksackmönster in och ut ur ålgräsängen längs hela djupkanten tills minst 8 djup-punkter (passager över kanten) samlats in. För att underlätta navigeringen rekommenderas att placera ut minst 8 markeringar längs ängens djupkant i side-scan mosaiken i DeepView-kartan (se [Teknisk guideline del IIB](#) nedan för detaljer). Vid denna provtagning kan man öka hastigheten till 3knop. För att få ett så optimalt resultat som möjligt skall man försöka passera ängkanten i en rak sträcka som möjligt (man får inte köra i för snäva kurvor).



Figur 3. Exempel på hur down-scan inhämtas i ett sicksackmönster med utsatta markeringspunkter för vart ålgräsängens djupkant ligger (röda punkter).

För att underlätta down-scan provtagningen placerar man ut minst 8 markeringar spridda över ålgräskanten. Side-scan filerna försvinner från kartläget när man börjar spela in down-scan och om man har markerat ut vart ängkanten går är det enkelt att navigera till ålgräsängens djupkant som i Figur 3.

Efterarbete med sonardata

När all data har inhämtats från sonar-undersökningen av djupkanten ska projektet sparas. Alla filer kommer att sparas i OS (C:) disken i DeepView mappen under scan data. Där downscan filer är .dvds och .dvs filer är side-scan. Projekt filen är en .dvpr fil.

Nästa steg blir att städa data som har inhämtats för att få side-scan mosaikbilder samt djupdata för ålgräsängens djupkant. Detta förklaras ingående i lathunden "[Cleaning side-scan sonar files](#)" som finns tillgängligt på begäran. Kontakta Länsstyrelsen i Västerbotten för mer information.

Teknisk Guideline av DeepView programvaran

En steg för steg-guide för hur man använder DeepView programvaran för att utföra sonar-undersökning.

I. Förbereda undersöknings-planering (Survey planning)

1. Starta DeepView
2. Spara ett nytt projekt genom att välja "File/Save project" och döpa projektet till ett lämpligt namn.
3. Zooma in på området du vill utföra undersökningen i kartvyn "Map view". Om sjökortet inte kommer upp, högerklicka på den blå skärmen och välj "Properties" ändra Map server till "Navionics".

4. Högerklicka på "Survey planning" som ligger i "Project Navigator" och lägg till "Add plan". Döp planen och välj en lämplig färg.
5. Välj "Polygon-tool" (röd fyrkant) eller "Polyline-tool" (rött sträck) i menyraden och rita ut önskad område för att utföra sonarundersökningen vid ålgräsängens djupkant. Försök att se till att djupkanten inte hamnar direkt under sonaren då det försvårar att se ålgräskanten. När du har ritat ut önskat polygon, klicka "Enter" för att spara. Polygon-filen kommer sparas under "Markers" i "Project navigator"
6. För att se information om polygoner/linjer klicka på Marker-folder och välj "Properties" för att få reda på area, position osv.
7. I "Properties" kan du även byta namn på polygonen vid "Name".
8. För att ta bort en polygon, högerklicka på polygonen som ligger i "Markers folder" och klicka "remove".
9. Dra din polygon från "Marker-folder" till "Survey planning-folder". Polygonen kommer nu att få transektlinjer.
10. Högerklicka på polygonen som ligger i din "Survey planning-folder" under "polygon projektet" och välj "Set Line-spacing". Välj lämpligt avstånd mellan transektlinjerna som gör att du får ett överlapp mellan transekterna. Ex. 50m line-spacing om du har 30m range för side-scan åt varsitt håll ($30+30=60\text{m}$, 5m överlapp på varsin sida av transekten). Se till att polygonen innehåller åtminstone två transektlinjer.
11. Ändra riktningen på transektlinjerna genom att klicka på namnet av polygonen under "survey planning" och vrid linjerna genom att dra pilen i mitten av polygonen.
12. Spara sedan projektet.

II. Inspelning av sonardata

Instruktioner för side-scan för att kartlägga ålgräsängens djupkant

1. Se till att det inte finns någon uppdatering av mjukvaror på datorn då detta förhindrar COM-porten att ansluta till sonaren.
2. Fäst sonaren på lämplig plats på båten, se till att sonaren är under skrovet på båten så att det inte blockerar side-scan signaler. Mät sedan avståndet mellan vattenytan och sonaren och anteckna. Detta avstånd används för att kompensera djupet i senare stadiet.
3. Sätt fast GPS-mottagare ovanpå sonaren (om detta ej går kan man korrigera GPS positionen i efterhand, anteckna avstånd mellan GPS och sonar i X och Y-led).
4. Koppla ihop sonaren med sonar-boxen som tillsammans med GPSen sedan kopplas till fältdatorn genom USB.
5. Om det finns andra sonarer ombord, stäng av dessa.
6. Starta DeepView.
7. Försäkra att kopplingen mellan GPS samt sonar till DeepView- programmet fungerar genom att "Recording", "Play" och "recording properties" går att klicka på.

8. Din position kommer visas på sjökortet med en båtikon om GPSen fungerar. Klicka på "Play" för att visa side-scan live.
9. Välj "Recording properties" alternativt "Side-scan" från menyraden och ändra räckvidd och båt hastighet. 30 m räckvidd och 1,5knop.
10. Öppna projekt-filen där undersöknings-planeringen ligger genom att klicka "file" och "open project". Välj sedan projekt-filen, den kommer att ha fil-format: .dvpr
Filerna kommer då hamna under mappen "survey planning" i "Project navigator".
11. Kör båten till början av en av transektlinjerna.
12. Klicka på "Recording" för att starta inspelningen av side-scan och kör i raka transekter längsmed utsatta linjer. Man kommer att se det inspelade side-scan materialet undertiden inspelningen pågår.
13. Kör båten i max 1,5 knop hela transekten och så rakt som möjligt.
14. Stäng av inspelningen genom att klicka på "Recording" när transekten är klar. Sväng sedan runt för att påbörja nästa transekt och starta inspelningen igen.

Instruktioner för down-scan för att insamla djupdata från ålgräsängens djupkant

1. För att inhämta djupdata till inventeringen ska down-scan filer inhämtas som är samma typ av fil som side-scan men som omvandlas i senare stadie i DeepView programmet.
2. Börja med att skapa markeringar (minst 8) längsmed djupkanten av ängen för att enkelt kunna navigera till ängkanten. Varje gång man passerar över ängkanten får man en djuppunkt. Försök även att passera rakt över ängkanten, ej i en kurva. Högerklicka på en punkt på kartvyn där du vill placera ut en punkt och välj "Add marker".
3. Påbörja sedan insamlingen av djupdata genom att klicka "Record" och åk i ett sicksack i 1,5 knop (alternativt 3 knop men då måste hastighetsinställningarna ändras i "Recording properties") mönster vid dom utsatta punkterna. När insamlingen är klar klicka "Recording" igen och avsluta insamlingen.

Jämförelse av sonarmetoder för kartläggning och skattning av ålgräsängars djuputbredning

Matilda Rasmusen, Henrik Möller, Per-Olav Moksnes

Institutionen för Marina vetenskaper, Göteborgs universitet

1. Introduktion

1.1 Syfte

Syftet med studien var att undersöka side-scan sonar som ett verktyg för att kartlägga ålgräsängars djuputbredning och skatta den maximala djuputbredningen, och jämföra den med mer traditionella metoder men vanlig sonar.

1.2 Bakgrund

Djuputbredningen av en ålgräsäng kan variera över tid bl.a. beroende på vattenkvaliteten och mängden ljus som når ålgräset. Skattningar av ängars maximala djuputbredningar används därför i miljöövervakningen i många länder som en indikator på vattenkvalitet och övergödning.

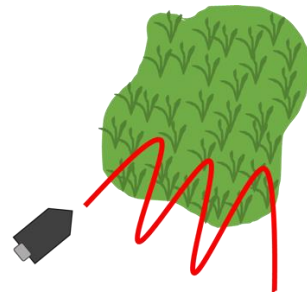
Det finns många olika metoder att inventera och kartlägga den maximala djuputbredningen av ålgräsängar. En av metoderna är att använda ett vanligt ekolod med vertikala ekon (s.k. down-scan sonar) där man kan se vegetationen och avläsa djupet. Ekolodet används tillsammans med antingen vattenkikare och/eller droppvideo för att bekräfta vad växtligheten består av. Metoden kan även kombineras med ortomosaiker av flygbilder från det inventerade området för att få en översiktsbild över ängens djuputbredning och för att kunna bedöma hur representativa tagna provpunkter är. Metoden fungerar bra i områden med bra siktdjup och ängar med tydliga djupkanter som kan avtecknas i flygbilder. Ålgräsängars djupkant kan dock vara svåra att inventera då den djupaste delen av en äng kan vara upp till 8 m djup på svenska västkusten. Detta medför att det kan vara svårt att se djupkanten från ytan med t.ex. vattenkikare samt i flygbilder, framför allt i områden som ofta är grumliga. I dessa områden kan metoder baserade på side-scan sonar (horisontella ekon) vara ett bättre alternativ då de är oberoende av siktdjupet, och kan kartlägga hela djupkanten av ängen utan att flygbilder behövs.

2. Metoder

2.1 Manuell metod med ekolod och vattenkikare/droppvideo

Denna metod skattar den maximala djuputbredningen av ålgräset genom att ta ett antal stickprover av djuputbredningen med ett vanligt ekolod (down-scan sonar) med integrerad GPS samt vattenkikare och/eller droppvideo. I denna studie användes ett ekolod av modellen *Hummingbird Helix 7 sonar GPS* med down-scan. En ålgräsäng avtecknas normalt tydligt från mjukbotten med ekolodet där djupkanten kan observeras. Genom att köra fram och tillbaka i ett S-format mönster längs djupkanten fås ett antal observationer på det maximala utbredningsdjupet som antecknas tillsammans med GPS koordinater (Figur 1). Vattenkikare/droppvideo används regelbundet för att

bekräfta vad som syns på ekolodet. I denna studie tog positionen även med en RTK-GPS (Trimble Geo7X) med hög precision (<10 cm).



Figur 1. Schematisk bild av S-format provtagning längs djupkanten med ekolod och vattenkikare/dropvideo.

2.2 Side-scan sonar metod med vattenkikare/drop-video

Vid användandet av side-scan sonar kartläggs hela djupkanten av ängen genom horisontella ekon, vilket tillsammans med data från vertikala ekon (down-scan) också ger en stickprovdata på den maximala djuputbredningen. I denna studie användes en frihängande sonar av märket *Little-eye* från *DeepVision* som skickar ut både horisontella och vertikala signaler (Figur 2) med en separat GPS-mottagare (*Globalsat BU-353Sa*). Genom att köra med side-scan sonaren i transekter fram och tillbaka längsmed djupkanten av ängen skapas tredimensionella bilder av botten av de horisontella ekona där ålgräsängens djupkant normalt tydligt avtecknas. Sonar-datan sätts automatiskt ihop till en mosaik-bild av tillhörande mjukvara (Figur 3). Samtidigt samlas djupdata kontinuerligt in med down-scan signalen för alla punkter direkt under båten. För att få djup-data över ålgräsängens djupkant behöver man även köra båten fram och tillbaka över djupkanten i ett S-format mönster på ett liknande sätt som i den "manuella" metoden. Vattenkikare/dropvideo används regelbundet för att bekräfta att vegetationen består av ålgräs, på samma sätt som med den manuella metoden. Genom att identifiera djupkanten i sonarbilden kan djupet på den exakta punkt där ålgräsutbredningen upphör avläsas ur transekterna där djupdata insamlades.



Figur 2. Side-scan sonar av modellen *Little-eye* från *DeepVision* (källa: <https://deepvision.se/>).

2.3 Jämförande studie 2020-2021

För att jämföra de två metoderna provtogs djuputbredningen av 7 olika ålgräsängar i södra Bohuslän sommaren 2021 med båda metoderna under samma besök. För vissa ängar inkluderades också ortomosaiker från drönarfoton från 2021, samt data på ålgräsets djuputbredning från 2020. Vid lokalen Kåkenäs i Hakefjorden jämfördes också side-scan data från två olika år (2020 och 2021). Insamlade djupdata komparerades för vattenståndsförändringar via mätningar vid Kristinebergs marina forskningsstation.



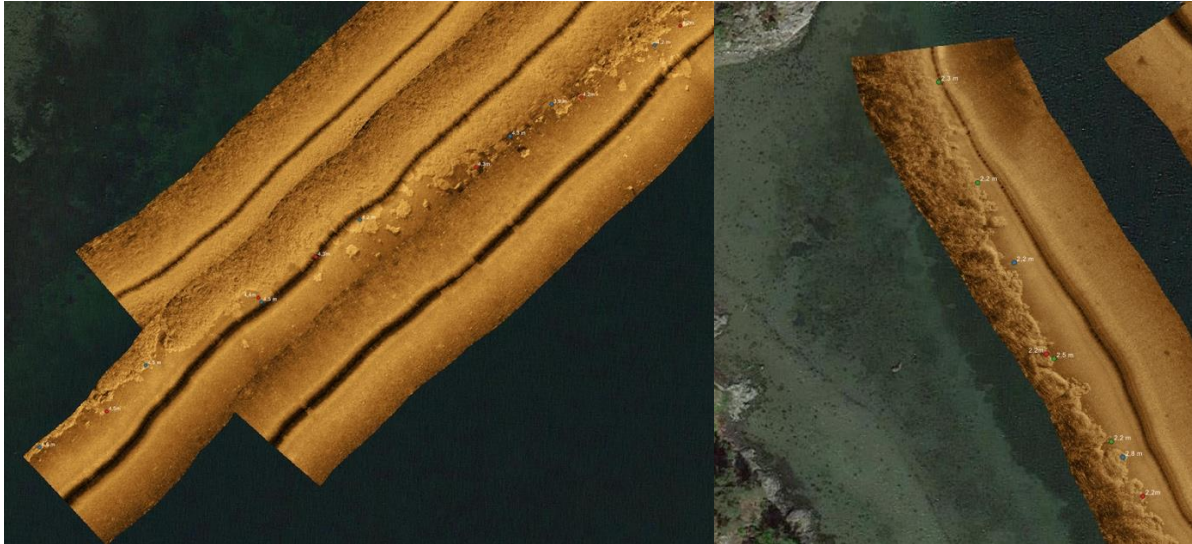
Figur 3. I figuren visar en satellitbild från lokalen Bökevik) Ovanpå bilden ligger den slutgiltiga sonar-mosaiken som kartlägger djupkanten av en ålgräsäng. Sonar-mosaiken består av tre side-scan transekter med utsatta djuppunkter från och sonarmetoden från 2021 (röda punkter) och de manuella provtagningspunkterna tagna med båtens ekolod (down-scan) gröna och blå punkter från 2020 respektive 2021.

3. Resultat och diskussion

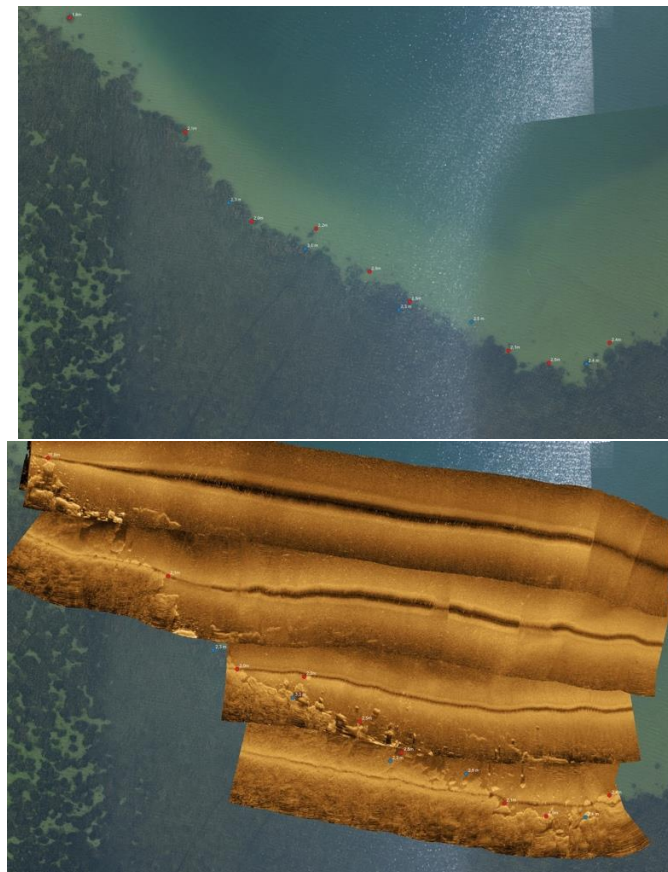
3.1 Jämförelse mellan metodernas noggrannhet och utfall

Noggrannhet i georeferering vid side-scan provtagning

Eftersom side-scan datan använt en GPS-mottagare med lägre noggrannhet (2-5 m) än RTK-GPSn precision (<10 cm) som använts för den manuella metoden, är en inledande fråga om side-scan resultaten är korrekt georefererade och direkt jämförbara med resultaten från den manuella metoden. För att studera detta placerades alla provtagningspunkter ovanpå georektifierade ortomosaiker från både side-scan bilder (sonar-mosaiker) och drönar foton (drönar-mosaiker) från samma lokaler. I en majoritet av de undersökta vikarna hittades provtagningspunkterna från den manuella metoden korrekt placerade på djupkanten av ängarna i sonar-mosaikerna (Figur 4). På samma sätt överensstämde djupkanten från sonar-mosaikerna väl med djupkanten från de flesta drönar-mosaiker, och provtagningspunkterna från side-scan provtagningen överensstämde väl med djupkanten av ängarna i drönar-mosaikerna (Figur 5). Dessa resultat tyder på att den enklare GPS-mottagaren som använts vid side-scan provtagningen ger tillräcklig noggrannhet för en korrekt georeferering och jämförbarhet med metoder som använder RTK-GPSer för målen i denna studie i en majoritet av studerade vikar.



Figur 4. Exempel på sonar-mosaiker och placering av provtagningspunkter. Bilden till vänster är från lokalen Jordfall i Halsefjorden och bilden till höger från Nordön i Ålgefjoorden i södra Bohuslän 2021. Röda och blå punkter visar provtagningspunkter från side-scan respektive den manuella metoden med uppmätt djup i meter.



Figur 5. Exempel på jämförelse mellan drönar-mosaik (till vänster) och sonar-mosaik (till höger) från lokalen Gulingen i Askeröfjorden 2021. Röda och blå punkter visar provtagningspunkter från side-scan respektive den manuella metoden med uppmätt djup i meter.

Ett undantag hittades dock vid lokalen Fladholmen i Havstensfjorden, där sonar-mosaiken och samtliga provtagningspunkterna från side-scan provtagningen var ca 5 m förskjutna norrut, i jämförelse med drönar-mosaiken och provtagningspunkterna från den manuella metoden (Figur 6). Den systematiska förskjutningen indikerar att sonar-mosaiken georefererats felaktigt med ca 5 m. Det är oklart varför noggrannheten hos GPS-mottagaren för side-scan sonaren var lägre vid denna provtagning. För att undvika detta problem bör en georeferens tas innan provtagningen för att säkerställa att sonarfilen georefereras korrekt.

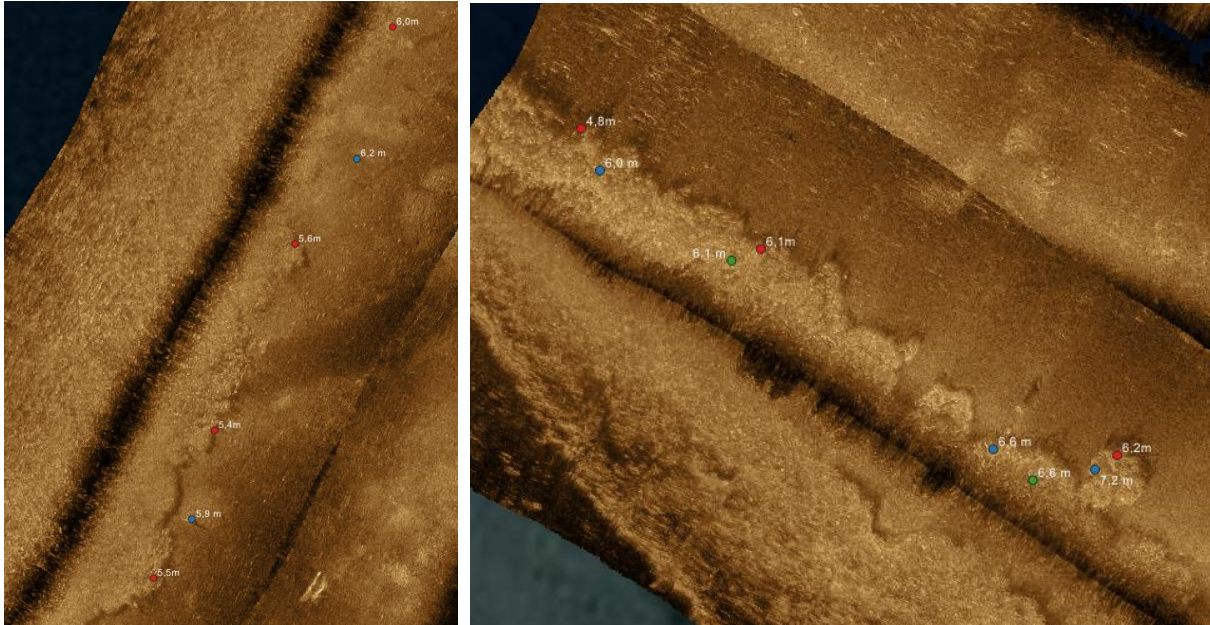


Figur 6. Exempel på jämförelse mellan drönar-mosaik (till vänster) och sonar-mosaik (till höger) från lokalen Fladholmen i Havstensfjorden 2021. Röda och blå punkter visar provtagningspunkter från side-scan respektive den manuella metoden med uppmätt djup i meter.

Noggrannhet vid manuell provtagning

En utmaning för den manuella metoden är att placera provtagningspunkterna korrekt vid djupkanten av ängen och vid representativa delar av ängen då orienteringen är svår i fält utan en karta över ängens utbredning. Med side-scan metoden utgör detta ett mindre problem då sonar-mosaiken utgör en detaljerad karta över ängens djuputbredning, och positionen för djupmätningen kan väljas exakt längs transekterna i mosaiken.

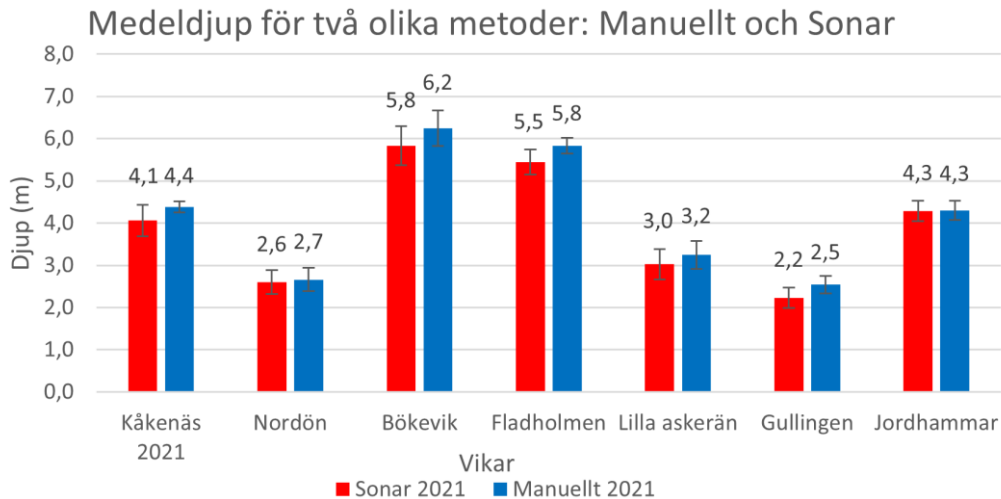
Som nämnts ovan återfanns de flesta provtagningspunkter från den manuella metoden mycket exakt längs djupkanten av ängarna i de flesta undersökta vikar (Figur 4, Figur 5), vilket indikerar att den manuella metoden lyckas väl med att identifiera och provta den maximala djuputbredningen av ängarna. I vissa lokaler hittades dock indikationer på att provtagningen fungerat mindre bra, där vissa punkter hittades några meter utanför eller innanför kanten på ängen, vilket kan ha resulterat i en över- respektive underskattning av djuputbredningen (Figur 5, Figur 7). Detta kan lätt ske om positionen och djupet mäts några sekunder för sent efter att kanten indikerats i sonaren. Vidare hittades avvikande djupvärden i datan från den manuella metoden i jämförelse med närliggande mätningar (Figur 7) som indikerar att misstag skett vid djupmätningen i fält. Risken för denna typ av misstag är mycket lägre med side-scan metoden då alla djupmätningar sker vid datorn efter fältprovtagningen, och kan upprepas vid behov. Överlag tycks dock denna typ av problem inte utgöra ett större problem för den manuella metoden som lyckas väl med att identifiera och provta den maximala djuputbredningen av ängarna.



Figur 7. Exempel avvikande provtagningspunkter och mätvärden från den manuella metoden. Bilden till vänster visar en del av sonar-mosaiken vid den västra delen av lokalen Bökevik i Gullmarsfjorden där två av provtagningspunkterna från den manuella metoden 2021 (blå punkter) ligger ett par meter utanför djupkanten av ängen och uppger ett större djup än närliggande punkter som uppmäts vid kanten med side-scan metoden samma år (röda punkter). Övriga provtagningspunkter från den manuella metoden var korrekt placerade vid djupkanten, vilket indikerar att avvikelsen inte beror på felaktig georeferering. Den högra bilden visar en del av transekten vid den östra delen av samma lokal där djupangivelser tagna med den manuella metoden 2021 (blå punkter) avviker med en meter eller mer i jämförelse med närliggande mätvärden tagna med side-scan metoden samma år (röda punkter). Eftersom andra närliggande punkter inte avviker tycks skillnaden inte bero på ett systematiskt fel, utan indikerar sannolikt misstag vid den manuella mätningen av djupet i fält. Gröna punkter anger djupvärden tagna med den manuella metoden 2020.

Jämförelse av skattad djuputbredning

Preliminära resultat på den skattade maximala djuputbredningen av ålgräs, baserat på ca 8 stickprov av vardera metod, visar ett likartat resultat med de två metoderna med samma inbördes ordning mellan de 7 lokalerna. Båda metoderna större djuputbredning i Gullmarsfjorden och Havstensfjorden (5.5-6.2 m) och lägre i Halsefjorden och Hakefjordsområdet (2.2-4.3 m; Figur 8). Dock noterades en mindre skillnad mellan metoderna med ett större skattat djup med den manuella metoden än med side-scan metoden på samtliga lokaler (i medeltal 25 cm större djup; Fig. 8). Vissa skillnader mellan metoderna är förväntade eftersom de är baserade på stickprov som kan placeras olika längs transekten. Vid t.ex. lokalen Guling återfanns fler provtagningspunkter längs den grunda västra delen av ängen med side-scan metoden än med den manuella metoden (Figur 6), som till del kan förklara skillnaden där. Vid lokalen Bökevik kan skillnaden bero på de mätfel som diskuterats ovan med den manuella metoden (Figur 7). Denna typ av fel tycks dock inte förklara skillnaden vid alla lokaler då provpunkterna i de flesta lokaler var väl placerade längs djupkanten av ängarna. Skillnaden kan därför indikera ett mindre systematiskt fel mellan metoderna. Orsaken till skillnaden är ännu inte klarlagd, men skulle kunna bero på skillnader i precision mellan sonarerna, eller på att sonarens placering under vattenytan ej uppmäts och kompenseras på ett korrekt sätt. Detta ska utredas i fortsatta studier. Referens-djup bör tas med en oberoende metod (t.ex. lod) vid varje inventeringstillfälle för att säkerställa att djupdatan som samlas in är korrekt.

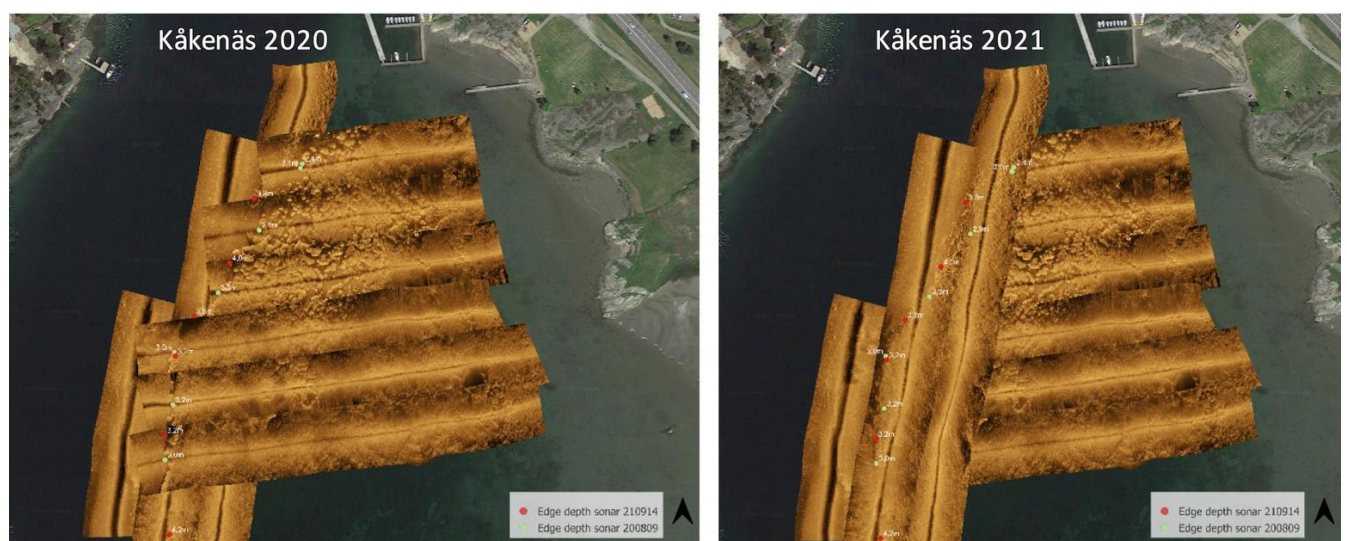


Figur 8. Uppmätt medeldjup med standardavvikelse från ca 8 provtagningspunkter längs djupkanten av ålgräsängar som inventerats med de två olika metoderna i 7 olika vikar. Röda staplar (sonar) är djupdata inhämtat med side-scan metoden och blåa staplar är djupdata inhämtat med den manuella metoden (down-scan ekolod) vid samma tidpunkt, 2021.

3.2 Användning av side-scan metoden för speciella fall

Detaljerad analys av djuputbredningen

En viktig skillnad mellan de två metoderna är att side-scan metoden ger en detaljerad karta över ängens djuputbredning där små förändringar i t.ex. fragmentering skulle kunna studeras över tid, utöver medelvärden i maximal djuputbredning. För att undersöka denna potential jämfördes side-scan provtagning vid lokalen Kåkenäs i Hakefjorden från två olika år (2020 och 2021). En visuell analys av ängen struktur i de norra delarna av provtagningsområdet visade en starkt fragmenterad djupkant 2020 som tydlig vuxit ihop till en mer sammanhängande djupkant 2021 (Figur 9). Jämför man även de olika djup-punkterna mellan åren ser man att djupkanten har flyttat sig utåt och blivit djupare än det föregående året. Resultaten visar en stor potential för metoden att beskriva förändringar som svåra att detektera med andra metoder, framför allt i områden där dåligt siktdjup exkluderar användning av fjärranalys av djuputbredningen.

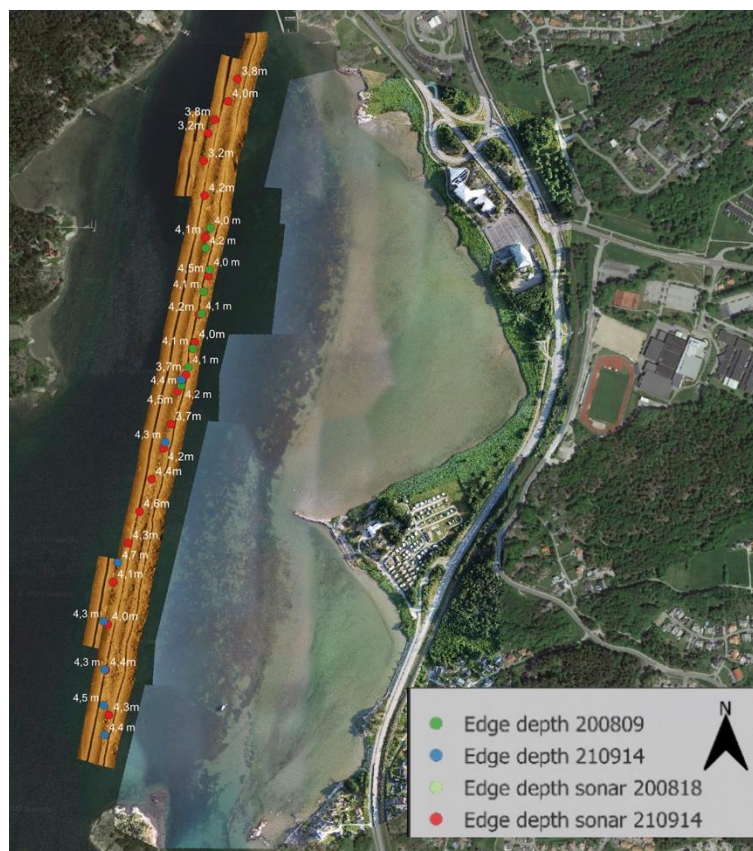


Figur 9. Side-scan-mosaikbild från samma del av lokalen Kåkenäs under två olika år, 2020 (vänstra bilden) och 2021 (högra bilden) med djupdata som markerar djupkanten de två olika åren.

Komplement till kartläggning av ålgräsängar där drönar-mosaiker har problem

Side-scan metodens sonar-mosaiker kan utgöra ett viktigt komplement till drönar-mosaiker för inventeringar och kartläggningar av ålgräsängar i områden där det vara svårt att få med djuputbredningen i drönar-mosaiken. Detta kan bero på att dåligt siktdjupet gör det svårt att se djupkanten från luften, eller på att ängen ligger så långt ut från land att det är problematiskt för mjukvaran att sätta samman en ortomosaik då referenspunkter saknas. I dessa fall kunde en sonar-mosaik kunna komplettera drönar-mosaiken för att få en komplett bild av ålgräsets utbredning.

Denna potential undersöktes vid lokalen Kåkenäs där det inte fungerat att få ihop en komplett drönar-mosaik över provtagningsområdet pga. avsaknad av referenspunkter långt från land. Genom att placera georefererade drönar- och sonar-mosaiker över samma område fås en sammanhängande bild av hela ålgräsängens utbredning. Resultatet visar att drönar-mosaiken missat halva ängen och möjliggör en skattning av hela ängens areella utbredning (Figur 10). Detta hade inte varit möjligt utan sonar-mosaiken.



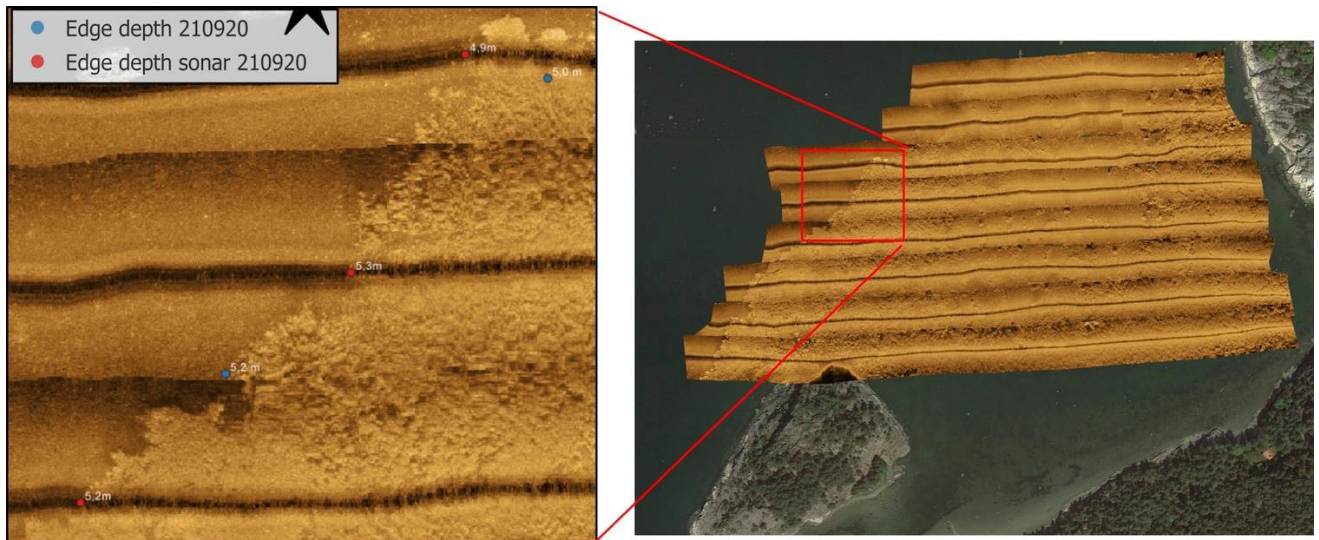
Figur 10. Kompositbild med en satellitbild som bakgrund, en drönar-mosaikbild (ljusare del av strand och grunda ålgräsområdet) samt en sonar-mosaik till vänster (bruna transekter med provtagningspunkter; se bildförklaring).

Kartläggning av ängars utbredning i områden med dålig vattenkvalitet

Ett sista potentiellt användningsområde för side-scan metoden är att kartlägga hela ängar (även de grundare delarna). Detta kan vara aktuellt där effektivare fjärranalys-metoder fungerar dåligt på grund av t.ex. dåligt siktdjup. För detta ändamål kan det vara effektivare att lägga sonar-transekterna till och från stranden för att minska risken att de grunda delarna skuggas från ekon av högväxt ålgräs.

Denna potential undersöktes vid lokalen Svanevikskile i Hakefjorden 2021. Här har flera försök att kartlägga ängen med hjälp av drönarfoton misslyckats på grund av dålig vattenkvalitet som gör det svårt att se ängen. Resultatet från side-scan mosaiken visar att djupkanten avtecknar sig tydligt, på

likande sätt som vid de andra lokalerna (Figur 11). Däremot är det lite svårare att urskilja var ängen börjar och slutar på vissa delar av de grunda delarna av viken. Detta beror sannolikt på att det är svårt att urskilja strukturer med side-scan sonaren när den endast fångar upp homogent ålgräs, samt att båtens grundgående inte tillät den att provta den grunda kanten av ålgräset. Om ålgräset växer hela vägen upp till ytan fungerar inte heller metoden att se vad som finns bakom.



Figur 11. Sonar-mosaik av en ålgräsäng i den södra delen av lokalen Svanevikskile i Hakefjorden. Den förstörade delen visar djupkanten av ängen. Röda och blå punkter visar provtagningspunkter från side-scan respektive den manuella metoden med uppmätt djup i meter.

4. Sammanfattning och slutsatser

Den manuella metoden

Jämförelsen mellan de två metoderna visade att den manuella metoden att skatta en ålgräsängs djuputbredning med hjälp av båtens sonar fungerade bra i flesta undersökta områden. Den lyckades hitta djupkanten effektivt och ta representativa stickprov i de flesta fall, som gav medelvärden som stämde väl överens resultaten från side-scan metoden. I vissa fall indikerades att provtagningspunkterna missat djupkanten med någon meter, eller att felaktiga djupdata antecknats, vilket kan påverka skattningen av djuputbredningen. Denna typ av problem kan motverkas genom att vara noga med bottendjupet mäts exakt vid djupkanten, samt att sonaren placering under båten och vattennivåförändringar beaktas på ett korrekt sätt. Vidare kan data från flera år plottas i samma karta för att detektera och exkludera felaktiga data från skattningarna (bottendjupet är konstant från år till år). Data som dåligt representerar djuputbredningen kan identifieras genom att jämföra provtagningspunkterna med drönar-mosaiker av djuputbredningen i områden där siktdjupet tillåter detta. I jämförelse med side-scan metoden är den manuella metoden mycket snabbare (30 min vs 60-120 min), och i områden där drönar-mosaiker kan fånga djuputbredningen tillför inte side-scan metoden mycket information (se Figur 5). Vidare kräver side-scan metoden relativt lugna förhållanden vilket gör den mer väderkänslig. Den manuella metoden rekommenderas därför i områden där provtagningen kan kompletteras med drönar-mosaiker av djuputbredningen.

Side-scan metoden

Den stora fördelen med side-scan metoden är att den både producerat en detaljerad sonar-mosaik av ängens djuputbredning, samt sparar en stor mängd djupdata från sin down-scanning funktion. Detta tillåter användaren att i efterhand med hög precision mäta bottendjupet i alla punkter där

båten passerat. Med hjälp av sonar-mosaiken kan därför ängens djupkant identifieras och bottendjupet mätas längs sonar-transekten i rätt position i lugn och ro på kontoret. Detta ger en säkrare skattning av bottendjupet vid ängens djupkant och mindre risk för misstag i jämförelse med den manuella metoden. I områden där vattenkvaliteten gör det svårt att fånga djuputbredningen av ängen med fjärranalys utgör side-scan metoden ett viktigt alternativ till den manuella metoden då den både skattar den maximala djuputbredningen, samtidigt som den genererar en detaljerad kartläggning djupkanten. Det senare kan vara viktigt i områden där djuputbredningen är fragmenterad varför förändringar är att svåra att detektera med endast den manuella metoden (Figur 9). Vidare kan side-scan metoden utgöra ett viktigt komplement vid kartläggning och övervakning av ålgräsängars areella utbredning i områden där t.ex. drönar-metoder har problem att få med hela ängen på grund av t.ex. dålig vattenkvalitet eller för stora avstånd till land (Figur 10, Figur 11).

Sammanfattningsvis utgör side-scan metoden ett viktigt komplement till andra metoder som skattar ålgräsängars djuputbredning och areella utbredning, framför allt i områden med dålig vattenkvalitet.

Marin Fjärranalys Bilaga 10

Satellitbilsanalys i SAV Sweden: Plattformsanvändning, leverans och analys av resultat

Se PDF-lathunden för detaljerade instruktioner för satellitbildsklassning och noggrannhetskattning. Den finns tillgänglig på begäran; se huvudrapporten för marin fjärranalys.

Satellitbilsanalys

1. Logga in på [SAV Sweden](#)
2. Starta ett nytt projekt
3. Välj region och år
4. Hitta potentiella datum
 - a. Dra ner cloud cover något för att sälla bort bilder med mycket moln (<30% ungefär).
 - b. Klicka igenom datumen för den relevanta tidsperioden (april till september). Varje bild syns i preview. Om bilden för ett datum verkar bra (få, helst inga, moln och ingen extrem algblomning/sedimentation om detta syns), skriv ner datumet.
5. Inspektera bilderna i [Sentinel Hub EO Browser](#)
 - a. Navigera till regionen i kartvyn
 - b. Klicka i Sentinel-2 och en tidsperiod på ett år (vilket spelar ingen roll, detta är för att välja en "scen"). Sök.
 - c. Välj en scen eller bricka (tile) som täcker regionen. Klicka Visualize.
 - d. Klicka på datumet för att få upp kalendervyn. Byt datum till ett av de potentiella som skrevs ner i steg 3.b.
 - e. Ändra gamma och gain under pensel-vyn för att se botten bättre.
 - f. Gå igenom de potentiella datumen för att hitta en användbar bild.
 - i. En bra bild har inga moln (detta inkluderar tunna molntäcken), ingen kustnära algblomning, inga uppröra sediment nära kusten, och inget annat som stör siktdjupet.
 - ii. Vissa satellitbilder från 2022 har så kallat döda pixlar. Huruvida detta påverkar resultaten vet vi inte riktigt än men vi har i nuläget använt även dessa bilder.
6. Välj en lämplig bild
 - a. Om flera användbara bilder finns och endast en ska väljas för året, ta en med bra siktdjup och sent på säsongen (om möjligt).
7. Åter i SAV Sweden-plattformen, välj datumet.
8. Om någon pre-processing ska göras, klicka i detta.
 - a. Vi har i enstaka fall använt remove clouds men oftast inget.
9. När plattformen hämtat och bearbetat bilden (pre-processing är complete), öppna projektet
10. Placera ut träningspolygoner
 - a. Underlag för träningspolygoner kan t ex vara referenspunkter, tidigare inventeringar, drönbilder eller klassningar av dessa, eller ortofoton från Lantmäteriet. Notera att data som används för träning inte kan användas för validering.
 - b. Alternativ 1: importera existerande träningspolygoner

- i. Se till att GIS-skiktet har ett fält kallat "class_name" där varje polygon har ett värde som representerar klassen (dvs SAV, Sand och eventuella övriga klasser).
 - ii. Se till att alla klasser finns i plattformen innan träningsytorna importerar. Om exempelvis Rock ska med, skapa en ny klass med detta namn.
 - iii. Exportera GIS-skiktet som shapefil eller GEOJSON i projektionen SWEREF99TM eller WGS84. Zippa och importera in i plattformen.
 - c. Alternativ 2: rita direkt i plattformen.
 - i. Börja med uppenbara ytor, t ex jämn sand eller stora ängar av SAV.
 - ii. Försök sprida ut dem över regionen och på olika djup, om möjligt.
 - iii. Ha representativa arealer, dvs om regionen mest har sandbotten och väldigt lite SAV bör det vara mer träningsytor för sand än SAV.
 - iv. Börja med ganska få ytor (kanske 50-100, beror på regionens storlek och komplexitet) och förbättra i senare steg om detta inte räcker.
 - v. Placera endast inom feasibility-lagret.
- 11. Välj alternativ för post-processing
 - a. Vi har använt default (sieve = ON, connectivity = 4, minimum object size = 4px).
- 12. Kör klassningen. När den är färdig, öppna projektet igen (processing state = completed)
- 13. Inspektera klassningen och förbättra om nödvändigt genom att placera ut fler eller ta bort träningsytor. Fler träningsytor är oftast bättre. Kör igen.
- 14. Upprepa tills nöjd.

Noggrannhetsskattning

1. Skapa valideringsdata
 - a. Valideringsdata kan vara punkter eller polygoner som skapas från t ex referenspunkter, tidigare inventeringar, drönarbilder eller klassningar av dessa, eller ortofoton från Lantmäteriet. Notera att data som används för träning inte kan användas för validering.
 - b. Data ska ligga i ett GIS-skikt med ett fält kallat "class_name". Varje punkt eller polygon ska ha ett värde i detta fält som motsvarar dess klass, exempelvis "SAV" eller "Sand".
 - c. Exportera GIS-skiktet som shapefil eller GEOJSON i projektionen SWEREF99TM eller WGS84. Zippa i en mapp.
2. Ladda upp valideringsdata
 - a. Klicka på "Upload validation data" och ladda upp den komprimerade mappen med valideringsdata.
 Problem som uppstått ibland:
 - i. Om inga punkter ligger inom feasibility-lagret får man ett ospecificerat felmeddelande.
 - ii. Fältet class_name måste stavas rätt och dess innehåll (SAV, Sand, Rock osv) exakt matcha klasserna i plattformen.
 - iii. Om polygoner används räknas varje pixel inom polygonen som en "punkt". Stora polygoner kommer därför påverka noggrannhetsskattningen mer än små polygoner och kan ge ett missvisande resultat.
 - iv. När GIS-skiktet zippas får det inte finnas undermappar, utan hela filen (shapefiler består t ex av flera filer) måste ligga direkt i den zippade mappen.
3. Öppna confusion matrix och inspektera

Resultatfiler & leverans

Träningsdata: klicka "Download polygons", välj SWEREF99TM, och döp om den komprimerade mappen till Region_ÅÅMMDD_training (ex. NorraGotland_230630_training)

Resultat klassning (raster): klicka på knappen "SWEREF99TM" (under "Run model"). Den komprimerade mappen som laddas ner kan behålla namnet den får automatiskt.

Valideringsdata: skicka samma komprimerade mapp som laddades upp i plattformen, namnge efter Region_ÅÅMMDD_validering (ex NorraGotland_230620_validering)

Sammanställning resultat: fyll i Excelmallen SAVSweden_leveransmall.xlsx, instruktioner finns i en separat flik. Alternativt sammanställ följande: area för de olika klasserna (km²), resultat från noggrannhetsskattningen (skärmdump är lättast), vilken typ av data som använts för träning och validering, vem som utfört klassningen.



Länsstyrelsen Västerbotten

Storgatan 71 B, 901 86 Umeå
www.lansstyrelsen.se/vasterbotten
vasterbotten@lansstyrelsen.se
010-225 40 00