

Fjärranalysens potential för kustzonsförvaltning



Rapport

December 2021

Sammanfattning

SGI har inom ramen för sitt nationella ansvar inom stranderosion givit Brockmann Geomatics i uppdrag att belysa fjärranalysens potential för kustzonsförvaltning. Rapportens huvudsakliga innehåll är en introduktion och exempel på data och produkter för åtta karteringstillämpningar som kan vara relevanta för olika kustzonsfrågor; vegetation, hydrologiska tillstånd, kuststrukturer, djup, bottenstrukturer, bottenvegetation, vattenkvalitet och vattentemperatur. Fokus ligger på att beskriva och exemplifiera befintliga metoder och produkter och ge konkreta exempel baserat på Brockmann Geomatics expertis och erfarenhet av olika tillämpningar. För vissa tillämpningar är resultatet mer av beskrivande karaktär och en blandning av egna erfarenheter och "state-of-the-art" inhämtade från rapporter och publikationer publicerade under de senaste åren. Beskrivningarna är inte uttömmande eller kompletta, men ger förhoppningsvis en bra bild av teknikens möjligheter och begränsningar. Rapporten inleds med en beskrivning av ett antal grundbegrepp inom satellitbaserad fjärranalys som kan vara bra att känna till för att kunna förstå fördelar och begränsningar med tekniken samt en summering av olika satelliter, sensorer och dataleverantörer av relevans för uppdraget.

Kontaktpersoner

Leverantören:

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

Beställaren:

Sebastian Bokhari Irminger
Statens Geotekniska Institut
Email: sebastian.bokhari-irminger@sgi.se
Tel: 040 356771

I samarbete med:



Medarbetare:

Petra Philipson (BG)
Susanne Thulin (BG)
Kerstin Stelzer (BC)
Eike Schütt (BC)
Sebastian Bokhari Irminger (SGI)
Per Danielson, (SGI)
Godefroid Ndayikengurukiye (SGI)
Anette Björlin (SGI)

Innehåll

1	INTRODUKTION	5
1.1	SATELLITER, SENSORER & DATA	5
1.1.1	<i>Begrepp</i>	5
1.1.2	<i>Satellitdata - Copernicus</i>	7
1.1.3	<i>Satellitdata – NASA/USGS</i>	9
1.1.4	<i>Satellitdata – CNES</i>	10
1.1.5	<i>Satellitdata – Högupplösta data</i>	10
1.1.6	<i>Svenskt tillgängliggörande av satellitdata</i>	13
2	METOD	14
2.1	DEMONSTRATIONSOMRÅDEN.....	14
2.2	TILLÄMPNINGAR	14
3	RESULTAT	16
3.1	VEGETATIONSKARTERING I KUSTZONEN.....	16
3.1.1	<i>Exempel 1 - Våtmarkers utbredning och status i kustzonen</i>	16
3.1.2	<i>Exempel 2 - Nationell övervakning av våtmarker</i>	17
3.1.3	<i>Exempel 3 - Vegetationsanalys och kartering av förändringar i kustnära områden</i>	19
3.1.4	<i>Exempel 4 - Vegetationsförändringar i kustdyner</i>	21
3.1.5	<i>Exempel 5 - Erosionseffekter på vegetation i strandzonen</i>	22
3.2	HYDROLOGISKA TILLSTÅND	24
3.2.1	<i>Exempel - Förändringar i öppna vattenytor - översvämningar</i>	25
3.3	KARTERING AV KUSTSTRUKTURER	26
3.3.1	<i>Exempel – Kartering av strandlinjens förändring</i>	27
3.4	DJUPKARTERING	30
3.4.1	<i>Exempel – Kartering av djup från Sentinel-2</i>	32
3.5	BOTTENSTRUKTURER.....	35
3.5.1	<i>Exempel – Identifiering av undervattensstrukturer i Sentinel-2</i>	35
3.6	BOTTENVEGETATIONSKARTERING	37
3.6.1	<i>Exempel-1 – Nationell kartering av vegetationstäckta bottnar</i>	37
3.6.2	<i>Exempel 2 – Vegetationskartering baserat på högupplösta satellitdata</i>	38
3.7	VATTENKVALITETSÖVERVAKNING	39
3.7.1	<i>Exempel 1 - Copernicus standardprodukter</i>	39
3.7.2	<i>Exempel 2 – Högupplöst vattenkvalitet och anpassade tjänster</i>	40
3.8	YTVATTENTEMPERATUR	41
3.9	FN:S HÅLLBARHETSMÅL OCH NYA MÅL FÖR BIOLOGISK MÅNGFALD	42
4	REFERENSER	43

Förkortningar

ATLAS	Advanced Topographic Laser Altimeter System
BOA	Bottom Of Atmosphere
CBD	Convention on Biological Diversity
CHIME	Planerad hyperspectral sensor
CLMS	Copernicus Land Monitoring Service
CMEMS	Copernicus Marine Monitoring Service
CNES	Centre national d'études spatiales (franska rymdmyndigheten)
CZ/CZC	Coastal Zone marktäckedata (Copernicus local hotspot), CZ Change
EEA	European Environmental Agency
ESA	European Space Agency
EUMETSAT	European Organisation for the Meteorological Satellites
GBF	Post-2020 Global Biodiversity Framework
HaV	Havs- och Vattenmyndigheten
HR	High Resolution
HYMO	Hydromorfologi
InSAR	Interferometrisk Syntetisk Apertur Radar
LRR	Linear Regression Rate
LC/LU	Land cover / Land Use
MAE	Mean Absolute Error
MIR	Mellaninfrarött våglängdsband
MSI	Multi-Spectral Instrument (e.g. Sentinel-2)
NIR	Near Infra Red (nära infrarött våglängdsband)
NSM	Net Shoreline Movement
NDVI	Normalised Difference Vegetation Index
NDWI	Normalised Difference Water Index
NMD	Nationella Marktäckedata
RGB	Röd-grön-blå färgbild
RMSE	Root Mean Square Error
S2	Sentinel-2
SCE	Shoreline Change Envelope
SDB	Satellite Derived Bathymetry
SNAP	SeNtinel APlications plattform
SWIR	Short-Wave Infra Red
TOA	Top Of Atmosphere
USGS	United States Geological Survey
VV	Vertical single polarization mode (Sentinel-1)
VHR	Very High Resolution
VMI	Våtmarksinventeringen (Gunnarsson & Löfroth, 2009)

1 Introduktion

Kustzonsförvaltning kan ses som en dynamisk och ständigt pågående process i vilken hänsyn till ibland motstridiga ekonomiska, sociala, kulturella mål också behöver ställas mot miljö- och rekreationsintressen. Detta kräver nära samverkan mellan många olika aktörer och intressenter. En integrerad kustzonsplanering kan stödjas av tillgång till data från fjärranalys eftersom dess produkter kan ge heltäckande och repeterbara mätningar inklusive historiska data, tidsserier och trender som kan illustreras överskådligt eller detaljerat. Därmed kan ömsesidig förståelse och tvärvetenskapliga diskussioner underlättas mellan olika samhällsplanerare, forskare, industri och allmänheten. I sin tur kan klokare beslut tas och samhället blir bättre rustat för att tackla klimatpåverkan från globala havsnivåhöjningar och stormar, inklusive ökad nederbörd. En långsiktig och hållbar utveckling av kustzonen möjliggörs när samtliga aktörer strävar åt samma håll.

Under de senaste decennierna har användandet av fjärranalys för att övervaka förändringar i ekosystemen kommit att utgöra en allt större komponent i takt med att mognadsgraden för sådan teknikanvändning har ökat och nyttan blivit alltmer uppenbar. Även för kartläggning och planering av både grön och blå infrastruktur har användningen av fjärranalysprodukter och GIS-analys ökat. Nyttan av fjärranalys kommer att höjas ytterligare för samhällsplanerare på olika nivåer och i olika organisationer i samband med att nationella och internationella krav på snabb rapportering av aktuell, kontinuerlig och rumsligt sammanhängande information ökar.

Medvetenhet om var de största fördelarna med att använda fjärranalys ligger och en bättre överblick över aktuell tillgång till olika metoder och deras mognadsgrad kan ge vägledning för samhällsplanerare på olika nivåer och beslutsfattare kan därmed också göra klokare prioritering av finansiering till olika aktiviteter, tillämpningar och/eller pilotstudier.

Uppdragets mål var att beskriva fjärranalysens potential för kustzonsförvaltning. Vi har valt att fokusera på att beskriva och exemplifiera befintliga metoder och produkter och ge konkreta exempel baserat på vår expertis och vår erfarenhet av olika tillämpningar. För vissa tillämpningar blir resultatet mer av beskrivande karaktär och en blandning av egna erfarenheter och "state-of-the-art" inhämtade från rapporter och publikationer publicerade under de senaste åren.

1.1 Satelliter, sensorer & data

Nedan följer en beskrivning ett antal grundbegrepp inom satellitbaserad fjärranalys som kan vara bra att känna till för att kunna förstå fördelar och begränsningar med tekniken. Kapitlet innehåller även en summering av olika satelliter, sensorer och dataleverantörer. Summeringen är till stor del baserad på en rapport utgiven av Länsstyrelsen Skåne under 2019, som i sin tur är baserad på flera olika svenska vetenskapliga artiklar och myndighetsrapporter. Vi har uppdaterat information som har förändrats, till exempel tillgång till nya mer avancerade satellitdata och andra stöddata.

1.1.1 Begrepp

Befintliga jordobservationssatelliter bär på många olika mätinstrument och sensorer med syfte att stödja insamling av olika typer av data. Sensorerna mäter inom olika delar av det elektromagnetiska spektret och kan antingen vara passiva, vilket innebär att de mäter reflekterat befintligt solljus, eller aktiva, vilket innebär att instrumentet mäter reflektionen av en signal som först skickats ut från instrumentet. Liksom för alla tekniker finns det ett antal fördelar och nackdelar med fjärranalys. Fördelarna med satellitdata är flera och de främsta fördelarna är:

- Regelbundna registreringar
- Stor geografisk täckning

- Låg datakostnad (gratis i allt större utsträckning)

De huvudsakliga nackdelarna är:

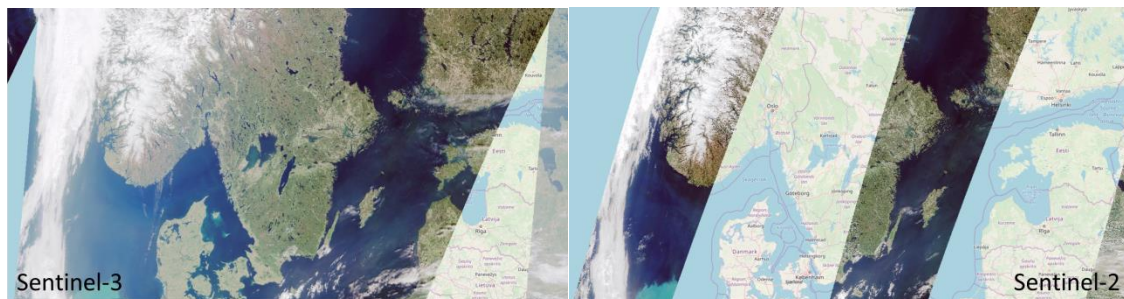
- Att specifik expertis kan krävas för korrekt bearbetning och användning vilket kan medföra att det går trögt att få i gång systematiskt arbete i myndigheter, till exempel kommuner och länsstyrelser med ansvar för kustzonsplanering
- Stora datamängder vilka kan vara svåra att lagra/hantera

Satellitdata definieras av flera olika typer av upplösning vilka styr användbarheten för olika tillämpningar. De olika typerna av upplösning som brukar beskrivas för att ge förståelse av användbarhet är:

- Rumslig -> pixelstorlek eller storlek på minsta objekt som kan avbildas
- Radiometrisk -> antal grånivåer som kan avbildas
- Spektral -> antal band och spektral bredd av våglängdsbanden
- Temporal -> återkomsttid för satelliten till visst ställe

Satellitdata brukar förutom referens till typen av sensor (optisk, radar) även delas in i kategorier med avseende på den rumsliga upplösningen; låg, medel, hög- och mycket högupplösta data. Vad som faktiskt menas med beteckningarna och var gränserna går kan variera beroende på informationskällan. I de fall begreppen används i den här rapporten avser vi med "lågupplöst" data och produkter med 100- till 1000-tals meter i upplösning (t.ex. Sentinel-3), med "medelupplöst" data med 10-tals meters upplösning (t.ex. Sentinel-2 och Landsat) och med "hög/mycket högupplöst" data på meternivå och därunder (t.ex. Plejad).

Andra faktorer som spelar roll för tillämpbarhet är satellitens banbredd, d.v.s. bredden på det område som en bild täcker vid registreringstillfället. Till exempel täcker en Sentinel-3 bild ett 1 270 km brett område medan en Sentinel-2 bild endast täcker ett 290 km brett område (Figur 1).



Figur 1 Täckningsområde eller "bildbredd" per satellitpassage av Sentinel-3 (vänster) och Sentinel-2 (höger).

Optiska sensorer är vanligtvis multispektrala (MS, färg) eller pankromatiska (PAN, svartvita) samt hyperspektrala. Skillnaden ligger i hur många våglängdsband och vilka våglängder som används för att skapa en bild. Multispektrala bilder brukar ha mellan 3 och 15 band medan hyperspektrala ofta har 100-tals olika spektralband. Pankromatiska bilder registrerar ljus i ett spektralband men med ett bredare våglängdsområde. Det medför att den rumsliga upplösning kan hållas högre då en kraftigare ljussignal når sensorn. Därför används ofta, särskilt i mycket högupplösta bilder, detta band för att förstärka de multispektrala banden genom att kombinera dem (pan-sharpening), till en så kallad "spectral merge" eller sammanvägd bild, vilket resulterar i en färgbild med skarpere detaljer. Pankromatiska bilder kan likna högupplösta svart-vita ortofoton medan multi-spektrala bilder kan användas för att jämföra spektra och särskilja

spektrala skillnader, till exempel för att identifiera olika habitat, följa upp vegetationsförändringar eller automatiserad uppföljning av förändringar i kustlinjen.

1.1.2 Satellitdata - Copernicus

Syftet med det EU-gemensamma programmet Copernicus är att underlätta global miljöövervakning och säkerhet. Det koordineras av EU tillsammans med den Europeiska Rymdstyrelsen ESA (European Space Agency), EUs medlemsländer och myndigheter. Förutom insamlingen och tillhandahållandet av bilder från satellitsegmenten ingår det i programmet att ta fram och förmedla miljöinformation genom tjänster och vidareförädlade produkter som är anpassade till en bred användarkrets. Alla data från Copernicus är gratis, enkla att ladda ned och relativt användarvänliga.

Inom Copernicus tillhandahålls data från Sentinel-familjen av satelliter. De har varit operationella sedan 2014 och består av fyra satellitgrupper (Sentinel-1, -2, -3 och 6) plus två instrument som är placerade på vädersatelliter (Sentinel-4 och -5). Ytterligare sex satelliter med olika sensorer planeras ([ESA - Copernicus Sentinel Expansion missions](#)) vars syften och tilltänkta tillämpningar kompletterar de redan existerande. Ett exempel är en satellit med hyperspektral sensor (CHIME) vars data tillsammans med data från Sentinel-2 är användbara för kartering av marktäckedata, precisionsjordbruk, uppföljning av biodiversitetsaspekter och kartering av jordartsegenskaper. I Tabell 1 presenteras Sentinelfamiljen mer utförligt.

Tabell 1 Copernicus system av satelliter. Informationen uppdaterad med hjälp av [ESA - The Sentinel missions](#).

Sentinel-1	Sköts upp år 2014 och 2016. Två satelliter (A och B) som rör sig i banor över polerna och som mäter dag och natt, oberoende av väder. Genererar bilder med C-band radar, med en upplösning från 9 meter. 1–2 dagars återbesöksstid på svenska breddgrader. Har användningsområden relaterade till kustzonsplanering, till exempel översvämningskartering.
Sentinel-2	Sköts upp år 2015 och 2017. Två satelliter (A och B) som rör sig i banor över polerna med syfte att mäta variationer i landförhållanden. Ger högupplösta multispektrala bilder (13 band med 10, 20 eller 60 meters upplösning, https://gisgeography.com/sentinel-2-bands-combinations/). Används främst till arbetsområdet landmiljöövervakning, men används även vid akuta händelser då den temporala upplösningen är så hög. Återbesöksstiden är ca 2–3 dagar, och täckningen är mellan latituden 56° söderut och 84° norrut.
Sentinel-3	Sköts upp år 2016 och 2018. Två satelliter (A och B) som mäter vattenytans topografi (höjden av havets yta – altimetri), havs- och landtemperaturer, havs- och landfärg med hög noggrannhet, med radar och optiska instrument. Det är ett samarbete mellan ESA (European Space Agency) som är ansvariga för havsdata och EUMETSAT (European Organisation for the Meteorological Satellites) som är ansvariga för landdata. Data används inom arbetsområdet marina tjänster, landövervakning och klimatförändringar.
Sentinel-4	Planerad uppskjutning 2022 på en annan satellit (MTG-S). Ska mäta atmosfären och ge information om gassammansättning och aerosoler. Hög spatial och temporal upplösning, mätning varje timme över Europa. Betraktas som ett kompletterande instrument och är placerat på en så kallad geostationär satellit, som håller sin position över jorden på samma ställe trots jordens rotation.
Sentinel-5	Planerades att tas i bruk under år 2021 (uppskjutet till 2024?). Ska mäta luftkvalitet och hur ämnen i atmosfären samverkar med klimatet. Dagligen ska globala data om klimat, luftkvalitet och ozon samlas in.
Sentinel-5P	(Precursor) Sköts upp år 2017. Temporär satellit som mäter atmosfäregenskaper tills Sentinel-5 tas i bruk. Mäter med hög spatial och

	temporal upplösning med syftet att möjliggöra väderprognoser samt för klimatövervakning.
Sentinel-6	(Michael Freilich mission). Två planerade satelliter. Uppdraget är designat för att ge havsnivå, havsytehöjd, signifikant våghöjd, vattenhöjd för inlandsvatten och andra produkter skräddarsydda för Copernicus operationella tjänster inom klimat, atmosfäriska, marina och landtjänster. Sentinel-6A sköts upp och gick in i omloppsbana i november 2020 och är nu i utvärderingsfas. EUMETSAT – Europas väder och klimatorganisation, har nu ansvar för driftsättning, rutinmässig drift och datadistribution. Den utgör en förlängning av tidigare satellitregistreringar av havsytehöjd och förväntas fungera åtminstone till 2030.

Samtliga satelliter i Tabell 1 ingår i ett program där en ersättare skjuts upp innan beräknad livstid för de tidigare satelliterna har gått ut.

Satellitbaserade data och produkter från Copernicus och andra EU plattformar

För Copernicus tjänster används också data från ett stort antal andra satelliter som bidrar med mätningar på land, till havs och i luften. Copernicus tjänster och förädlade data har fokus på sex olika områden: landmiljöövervakning, krishantering vid katastrofer, luftkvalitet, klimatförändringar, säkerhet och olyckor, och marina tjänster. Syftet är att anpassa information och tjänster till varje område för att både göra det lättare att tillhandahålla lämplig information och för att underlätta för användarna.

Copernicus programmet ger möjlighet till analys av olika satellitbaserade marktäckte och markanvändningsdata som kan vara relevanta för kustzonsplanering. Dessa inkluderar satellitdatabaserade produkter för akvatiska tillämpningar (CMEMS, [Home | CMEMS \(copernicus.eu\)](#)) och landbaserade tillämpningar (CLMS [Copernicus Land Monitoring Service](#)). Dessa två tjänster har sedan 2017 aktivt samarbetat för att implementera en harmoniserad och omfattande strategi för övervakning av havskustzonen i Europas EEA39 länder.

Sedan 2021 finns därför ett nytt så kallat "Hotspot" dataset som heter Coastal Zone mapping (CZ – Coastal Zone LC/LU) med en produkt för referensåren 2012 och 2018 samt en förändringsprodukt. Data finns för 10 km från kustlinjen och består av 71 marktäckte och markanvändningsklasser. Exempel på dessa data visas i kapitel 3.1.3.

I CLMS finns sedan 2020 tillgång till dels CORINE Land Cover (LC) som är vektorbaserade marktäcktedataset från referensåren 1990, 2000, 2006, 2012 och 2018 och innehåller 44 marktäckteklasser. Tidsserien innehåller också lager som markerar förändringar i marktäckte och markanvändning. Andra Copernicus geodata av intresse för kustzonen och omgivande avrinningsområden är de så kallade High Resolution Layers som kompletterar Corine LC och är baserade på högupplösta satellitdata (från 2015 på Sentinel-2 data) och inkluderar:

- Forests (tree cover density, dominant leaf type, forest type)
- Grassland (grassland-non grassland)
- Imperviousness (hårdgjorda ytor)
- SmallWoodyFeatures
- Water/Wetness

För att skatta förändringar av kustlinjen i Europa används fjärranalys i ett EU-samarbete där SGU medverkar och SGI är medlem/partner. EMODnet (European Marine Observation and Data Network) har en kopplad karttjänst där man enkelt kan få tillgång till de senaste versionerna av kustlinjen (baserat på Sentinel-2 data och tidvattenmodeller, [New and improved version of Satellite Derived best estimate coastlines - News - EMODnet Bathymetry \(emodnet-](#)

bathymetry.eu) samt djupdata med en upplösning av ca 115 meter ([Data products - EMODnet Bathymetry \(emodnet-bathymetry.eu\)](#)) men även andra produkter som bottenvegetation.

1.1.3 Satellitdata – NASA/USGS

USA:s fristående myndighet för rymdfart och rymdforskning NASA har tillsammans med United States Geological Survey (USGS) ett jordobservationsprogram med satelliter som startades redan på 1970-talet. Det innebär att det idag finns långa tidsserier med data från de många satelliter som ingår LANDSAT-serien. Den senaste operationella är Landsat-8 men Landsat-9 har skjutits upp och är nu i valideringsfas (Tabell 2).

I sitt ”Earth Observing System” har NASA har också ICESat-2, ett satellituppdrag för att mäta ishöjning och havsistjocklek samt landtopografi, vegetationsegenskaper och moln. Den sköts upp 2018 och instrumentet ”Advanced Topographic Laser Altimeter System” (ATLAS) ombord ([Our Mission | ICESat-2 \(nasa.gov\)](#)). Data kan användas i kombination med andra data för djupkartering i kustzonen, [Presentation Recordings » CoastGIS 2021 \(novia.fi\)](#) - se Rodolphe Devillers, ”What to do when you don’t have good coastal bathymetry”.

Tabell 2 NASA/USGS Landsat-program. Information uppdaterad från Landsat Science (History | Landsat Science (nasa.gov)) hämtad 2021-11.

Landsat 1	Användes mellan år 1972–1978. Samlade in bilder med data i fyra spektralband (grön, röd och två IR), med hjälp av multispektrala skanningssystem. Hade också ett instrument som mäter reflekterande solljus, Return-Beam Vidicon.
Landsat 2	Användes mellan år 1975–1982. Hade samma instrument som Landsat 1.
Landsat 3	Användes mellan år 1978–1983. Hade samma instrument som tidigare satelliter, dock med några tekniska modifieringar av Return-Beam Vidicon instrumentet.
Landsat 4	Användes mellan år 1982–1993. Hade multispektralt skanningssystem, men också en sensor med bredare upptagning av det elektromagnetiska fältet och med bättre upplösning, kallat Thematic Mapper (TM). Fler spektralband kunde då samlas in.
Landsat 5	Användes mellan år 1984–2013. Hade samma instrument som Landsat 4.
Landsat 6	Sköts upp år 1993 men misslyckades med att placeras i rätt omloppsbanan och togs aldrig i bruk.
Landsat 7	Operationell från 1999, men kommer att avvecklas när Landsat 9 är fullt operationell. Problem uppstod 2003 då ett fel har gjort att vissa sektioner av bildstråken avbildas dubbelt och vissa inte alls. Den har ett likande instrument som skulle ha mätt på Landsat 6, men förbättrat, Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Ger pankromatiska bilder med 15 m upplösning. Hög rumslig noggrannhet och global täckning, bilder genererades av ¼ av jorden var 16:e dag.
Landsat 8	Sköts upp år 2013 och datainsamling pågår. Har två instrument, Operational Land Imager och Thermal Infrared Sensor vilka ger bilder med en spatial upplösning på 100, 30 och 15 meter. Följande spektra mäts: termisk, synligt ljus, nära infraröd, mellaninfrarött och pankromatiskt. Hela jorden ska täckas in.
Landsat 9	Sköts upp den 27:e september 2021, är i omloppsbanan och kommer under hösten 2021 att gå in i en valideringsfas. För att reducera risken att få avbrott i Landsat-seriens satellitregistreringar, är Landsat 9 till stor del en kopia av Landsat 8. Landsat 9 registrerar dock data med 14-bitars radiometrisk upplösning vilket ger fler grånivåer än med Landsat-8’s 12-bitars upplösning.

Landsat NeXt	Under utveckling, planeras innehålla 25 spektralband med bland annat 2 extra band i den kortvågiga (blå) delen av det elektromagnetiska spektrat som är väsentliga för kusttillämpningar inklusive analys av vattenkvalitet.
---------------------	--

1.1.4 Satellitdata – CNES

Ett annat satellitprogram har tagits fram av den franska rymdmyndigheten CNES (Centre national d'études spatiales) med syfte att producera högupplösta jordobservationsbilder. Fem SPOT-satelliter med olika uppdateringar har skickats upp sedan 1986 (SPOT-1-5). Den rumsliga bildupplösningen i SPOT-5 var 2,5 meter. Från och med SPOT-4 är satelliterna utrustade med, förutom multi-spektrala sensorer, det oberoende instrument "VEGETATION" som ger daglig nästan global lågupplöst vegetationstäckning för att identifiera globala vegetationsförändringar på grund av brand eller torka och följa upp förändringar i ekosystem på kontinental nivå. Sedan 2015 hanteras SPOT satelliterna av Airbus Defence and Space, och nu finns också mycket högupplösta kommersiella data från SPOT 6 och SPOT 7 (<1,5 meter för pankromatiska bilder ([SPOT 6/7 \(intelligence-airbusds.com\)](https://www.intelligence-airbusds.com))).

1.1.5 Satellitdata – Högupplösta data

Kommersiellt tillgängliga mycket högupplösta satellitdata har generellt en bandindelning med ett pankromatisk (svart-vitt) band med mycket hög upplösning (< 1 meter) och 4-8 multispektrala band med 2-4 meters upplösning. Sådana data från satellitkonstellationen Plejaderna är tillgängliga från ett franskt projekt som Sverige deltar i och som innebär att svenska institutionella användare genom Rymdstyrelsen kan få tillgång till dem gratis inom den svenska tilldelningskvoten, inklusive arkiv data (se Figur 2) som i vissa fall går tillbaka till 2012. Avtalet om en svensk bildkvot gäller till och med 2024.

Vår erfarenhet är att tillgänglighet och valmöjlighet när det gäller dataformat är tämligen begränsat och styrs av Försvarsmaktens preferenser för sin verksamhet. När vi erhöll data 2014 fanns bara möjlighet att få Plejadata i form av en produkt som är en sammanslagning av det pankromatiska och de fyra multispektrala banden och det gick inte att få den uppdelad (en så kallad bundle) vilket ger mer valmöjlighet när det gäller användande av olika sammanslagningsmetoder (pan-sharpening) och processering. Dessutom krävdes egen ortokorrigeringsmetod för detaljerad jämförelse/kombination med andra geodata. Enligt Rymdstyrelsen är principerna fortfarande desamma (Pers. kom. Björn Lovén) och svenska användare hänvisas till Rymdstyrelsens information om Plejadata [Satellitdata från Plejaderna - Rymdstyrelsen](#) som inkluderar kontaktinformation för ansökan av programmering av Plejadsatelliterna.

I Airbus arkivkatalog [Ordering \(intelligence-airbusds.com\)](https://www.intelligence-airbusds.com) kan man inspektera tillgängliga arkivdata. Exempel på arkivbilder visas i Figur 2 och man kan se att det kan finnas bilder (inklusive stereobilder) tillgängliga för större delen av Skånes kust. Det finns dock ett förbehåll och det är att de behöver vara beställda av en svensk aktör för att vara gratis via Rymdstyrelsen. Om så inte är fallet kan de vara belagda med avgift.



Figur 2 Exempel på någorlunda molnfria Plejadesbilder från arkivet över Skånekusten och Bjärehalvön.

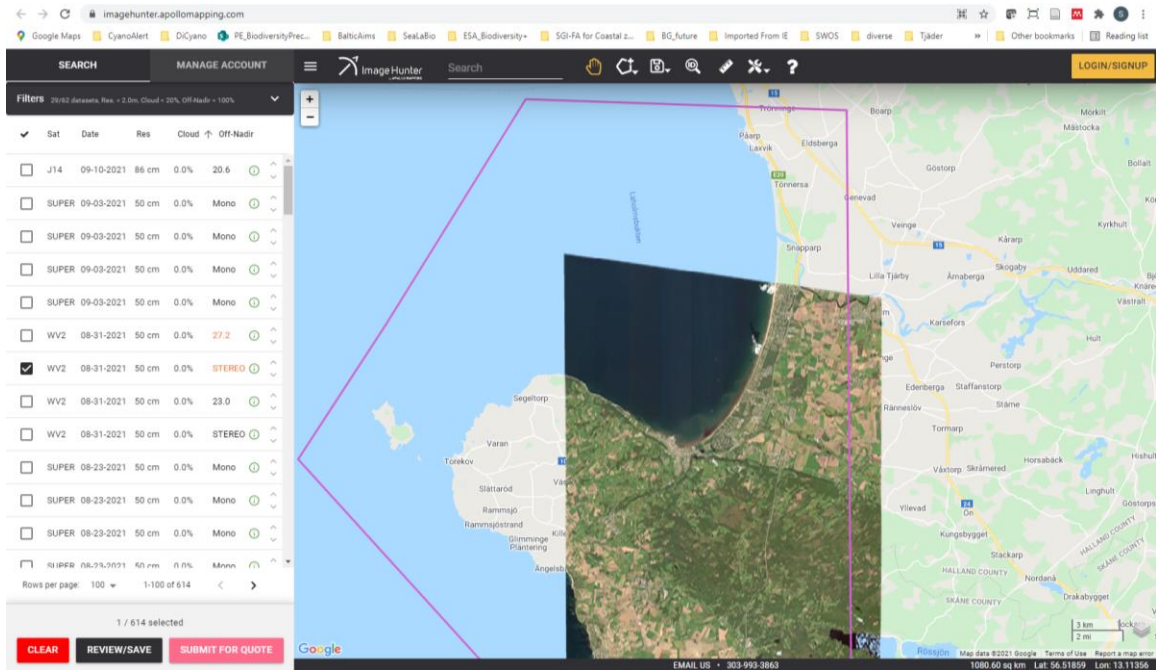
Från och med november 2021 registreras data från Plejades Neo med fyra identiska satelliter som ger bilder med ännu högre rumslig upplösning (0,3 meter pankromatiskt och 1,2 meter multispektralt). När det gäller Plejades Neo, så finns inget svenskt projektsamarbete och därmed inte heller någon avtalad kvot.

I listan nedan redovisas kommersiella huvudleverantörer av högupplöst data men det finns även andra aktörer, t.ex. Apollo Mapping ([Apollo Mapping | The Image Hunters](#)) som förmedlar samma data och dataprodukt. Satelliter i kursiv stil är avvecklade men arkivdata finns och de satelliter som är aktiva 2021 är markerade med fet stil:

- Maxar-Digital Globe; *IKONOS*, *QuickBird*, **GeoEye**, **WorldView-2/3**
- Airbus Defence and Space; **Plejades**, **Plejades Neo**, *SPOT1/2/3/4/5*, **SPOT 6/7**
- NARLabs; *Formosat 2/3/4/5*
- SpaceWill; **SuperView** (SUPER)
- SI Imaging; *Kompsat (KOMPSAT)-2/3/3A*
- Geosat; Deimos (DM-1/2), omdöpt november 2021 till *Geosat-1* och **Geosat-2**
- Planet; **PlanetScope**, *RapidEye*

Högupplösta data tillgängliggörs i olika bandkombinationer och upplösning, och med olika krav på minsta areal för köp, vilket ställer krav på att användaren (köparen) har god förståelse för sina tillämpningar och behov för att minimera kostnaden. Samordning med andra användare kan vara kostnadsbesparande.

Apollo Mapping och Planet m.fl. har sökverktyg där man kan inspektera olika bilder över valda områden. Se exempel i Figur 3 och [Image Hunter by Apollo Mapping](#), eller [Planet | Homepage](#). Mer information om IKONOS, QuickBird och PlanetScope redovisas nedan.



Figur 3 Exempel på WorldView-2 bild från 2021-08-31 över Laholmsbukten (Imagehunter, <https://imagehunter.apollomapping.com/>).

IKONOS

IKONOS var världens första kommersiella satellit som registrerade bilder med en rumslig upplösning som var bättre än 1 meter. Den var ägd av Space Imaging och en del av Maxar-Digital Globes konstellation av högupplösta satelliter. IKONOS bilder finns tillgängliga från sent 1999 till december 2014 då den togs ur bruk. IKONOS optiska sensorer gav bilder med 82 cm upplösning i det pankromatiska bandet och upplösning och 3,2 m i de fyra multispektrala banden (i.e. blå, grön, röd och NIR).

Ända till 2007 var den rymdindustrins mest flexibla satellit med förmåga att avbilda stora delar av jorden var 3:e dag. För längre tidsserier med hög rumslig upplösning och uppföljning av detaljerade förändringar är dessa bilder väldigt viktiga. Tillgång till arkivbilder finns till exempel från Maxar (Digital Globe), <https://www.maxar.com/products/satellite-imagery> och Apollo Mapping <https://apollomapping.com/>.

QuickBird

Sedan uppskjutningen av satelliten QuickBird år 2001 har den registrerat bilder med 0.6 meters upplösning i det pankromatiska bandet och 2,4 meters upplösning för de fyra multispektrala banden. Sedan december 2014, registrerar QuickBird inte längre nya data men arkivdata är tillgängligt från flera kommersiella aktörer (Maxar (Digital Globe), <https://www.maxar.com/products/satellite-imagery>).

PlanetScope

Planet ([Planet | Homepage](#)) skickade upp sin första Dove-mikrosatellit 2015 med flera uppskjutningar av ytterligare satelliter följande år. 2019 fanns det över 150 PlanetScope mikrosatelliter i planetärt omlopp som ger dagliga bilder av större delen av jordens landområden med 3 meters upplösning i fyra multispektrala band (blå, grön, röd och NIR). Sedan 2018 används en ny typ av filter som kombinerar på varandra följande bildrutor för att skapa multispektrala kompositbilder. Nyligen lanserades "SuperDoves" som har 8 multispektrala band med 3 meters upplösning, där ytterligare band i den blå delen av spektrat lägger till värdefulla data viktiga för kustapplikationer och i "red edge" som är viktiga för detaljerade

vegetationsförändringar (fenologi och art/habitatidentifiering). Planet fortsätter att förbättra sina "Doves" med flera uppskjutningar per år vilket skiljer sig markant från uppdatering av makrosatelliter som WorldView-3 som förbättras vart 5:e till 10:e år för varje ny uppskjutning.

1.1.5.1 Pris på kommersiella data

Enligt prislista från Apollo mapping ([Apollo Mapping | The Image Hunters](#)) kostar arkivdata från avvecklade satelliter, t.ex. QuickBird (2001-2014), ca \$17,50 (€15) per km² och Ikonos (1999-2014) ca \$10 (€8,6) per km². Arkivdata från aktiva satelliter som Worldview-3 och -4 kostar mellan \$22,50 – 24 per km² (0,3 m upplösning) och med minsta beställningsareal 25 km². För nyprogrammering ligger kostnaden runt \$35–55 per km² och med minsta beställningsareal på 100 km². För GeoEye-1 (0,4 m upplösning) är priserna något lägre. Priserna beror också på vilka band man vill ha och för programmering om leveranstiden är standard eller prioriterad. Priser för PlanetScope är jämförelsevis \$1,50 lägre per km² för arkivdata och minsta beställningsareal är 250 km². Särskilda rabatter brukar ges till akademiska aktörer.

1.1.6 Svenskt tillgängliggörande av satellitdata

Sverige har bidragit till SPOT-programmet och står som en del av den europeiska gemenskapen även bakom Copernicus, men har ingen egen satellit av relevans för tillämpningen. I Sverige har man dock satsat på att göra data och produkter mer lättillgängliga och anpassade till svenska användares behov. I sammanhanget bör Saccess och Nationella Rymddatalabbet omnämnas:

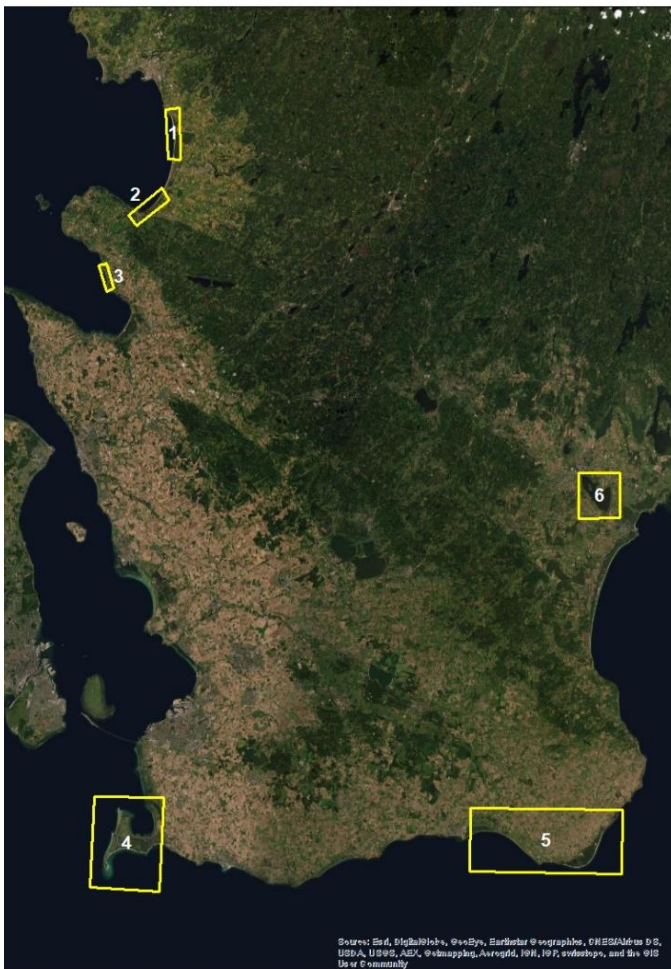
- Saccess – Lantmäteriets kart- och satellitbildstjänst, öppen tillkomst för svenska användare, registrering krävs. Tjänsten tillhandahåller 3000 enskilda ortokorrigerade satellitbilder, varv 2231 systemkorrigerade, och 35 färdiga Sverige mosaiker färg och IR med nationell årlig täckning sedan 1985. Fram till 2015 är de baserade på Landsat och SPOT4-5, sedan dess är de baserade på Sentinel-2. [Saccess \(lantmateriet.se\)](#).
- Nationella Rymddatalabbet - ett samarbetsprojekt mellan Rymdstyrelsen, AI Sweden, Rise och Luleå tekniska universitet. Målet med ett nationellt rymddatalabb är att öka användningen av data från rymden för utvecklingen av samhället och industrin för planetens bästa. Labbet tillhandahåller en datahub med Copernicus-data, i första hand Sentinel-2 men även Sentinel-1, Sentinel-3 och eventuellt ytterligare datakällor framöver [Swedish Space Data Lab | AI Sweden](#).
- Sverige har nyligen gått med bland de länder som nu har en nationell InSAR karta som är gratis tillgänglig till användare. Webportalen InSAR Sweden tillgängliggör en så kallad deformationskarta som visar markrörelser för hela Sverige. Sentinel-1 data med fem års täckning (2015-2020) har bearbetats. Den här tjänsten har god potential att stödja uppföljning av geologiska riskområden i Sverige ([InSAR tjänst Rymdstyrelsen](#)) och [Rymdstyrelsen - InSAR tjänst Info](#).

2 Metod

Arbetsmetoden för uppdraget har varit att beskriva och exemplifiera befintliga metoder och produkter och ge konkreta exempel baserat på vår expertis och vår erfarenhet av olika tillämpningar. För vissa tillämpningar blir resultatet mer av beskrivande karaktär och en blandning av egna erfarenheter och "state-of-the-art" inhämtade från rapporter och publikationer publicerade under de senaste åren. I uppdraget ingick inte någon utveckling av nya metoder, utan fokus ligger på att beskriva bredden av möjligheter och tillämpningar med befintliga metoder och tekniker.

2.1 Demonstrationsområden

Områden för demonstration av satellitdata, satellitdataprodukter och analysmetoder inkluderar dels ett par av de områden som är aktuella i projektet LIFE Coast ADAPT ([LifeCoastADAPT](#)) och dels där Båstad kommun har utfört arbete samt exempel från våra egna projekt eller andra kustområden som visat sig lämpliga för demonstration (Figur 4).



Figur 4 visar de områden i Skåne/Halland som har använts i denna rapport för demonstration med hänvisning till kapitel i rapporten:

1. Laholmsbukten – Tönnersafältet, (Kap. 3.1.4)
2. Båstad – Hemmeslövsstrand, (Kap. 3.1.3)
3. Bjärehalvön – Stora Hult Strand, (Kap. 3.1.5)
4. Falsterbohalvön (Kap. 3.4, 3.5)
5. Skånes sydostkust, (Kap. 3.3)
6. Hammarsjön, Åsums ängar, (Kap. 3.2, 3.1.2)

2.2 Tillämpningar

Det finns flera olika studier som visar att vissa processer som är viktiga för kustzonsplanering, till exempel erosion och vegetationsförändringar, kan karteras från satellitbilder: strandlinjen, vegetationslinjen eller ändringar av markanvändning, förändringar i vegetationens täckningsgrad, förändringar i sedimentförhållandena och topografi genererad från satellitbilder.

Olika spektralband används för olika tillämpningar. Till exempel används ofta de röda och infraröda banden (både nära infrarött (NIR) och mellaninfrarött (MIR eller SWIR på engelska)) enskilt eller i kombination i form av kvoter. En vanligt använd kvot eller index är Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) för att skatta biomassa (rött-NIR/rött+NIR), en annan är Normalized Difference Water Index (NDWI) för att skilja vatten från land (grönt-NIR/grönt+NIR). För att identifiera strandlinjen kan MIR och NIR banden användas separat då de ger möjligheter att skilja vatten från land. Dock fann man i en studie utförd av Metria (Metria AB, 2014) att MIR-bandet i SPOT-5 inte tillförde extra möjlighet att kartera förändringar i strandlinjen.

Tillsammans med rymdstyrelsen undersökte SGI år 2010 olika metoder för att titta på kusterosion med analys av satellitbilder inom projektet CoastSat och 2014 gavs en rapport ut framtagen av SGI, SGU och Metria med titeln 'Satellitdata för kartläggning av kusterosion' (Metria AB, 2014). I den beskrivs potentialen för att följa upp kusterosion med fjärranalys baserat på gratis satellitdata (Landsat och SPOT 5) som då fanns tillgängliga, men även med hjälp av högupplösta data från KOMPSAT, en kommersiell satellit med 1 meters rumslig upplösning. För att kunna påvisa lokala förändringar med hög noggrannhet pekar resultaten på att mycket högupplöst till högupplösta data är nödvändiga, medan medelupplösta data som SPOT eller Landsat kan vara tillräckliga för regionala tillämpningar.

I dagsläget finns möjlighet att utvärdera användbarheten av mycket högupplösta data från Plejaderna för liknande tillämpningar. Dock är, som beskrivet ovan, tidsspannet för att nyttja dessa gratis data begränsat för svenska användare och bör därför ske före utgången av 2024.

Användande av data från Sentinel-2-satelliterna, som upplösningmässigt ligger mellan Landsat/SPOT och mycket högupplösta data, är av stort intresse, särskilt som den temporala upplösningen möjliggör analys av många bilder över hela året som kan visa på säsongsmässiga variationer. Följande tillämpningar har analyserats i relation till fjärranalysens potential för kustzonsförvaltning inom ramen för uppdraget och beskrivs i Kapitel 3 Resultat:

- Vegetationskartering
- Hydrologiska tillstånd
- Kartering av kuststrukturer)
- Djupkartering
- Bottenstrukturer
- Bottenvegetationskartering
- Vattenkvalitetsövervakning
- Ytvattentemperatur

3 Resultat

Uppdragets syfte var att belysa fjärranalysens potential för kustzonsförvaltning. Nedanstående avsnitt innehåller en kort introduktion och exempel på resultat för de åtta tillämpningar som listats ovan (Kap. 3.1-3.8). Beskrivningarna är inte uttömmande eller kompletta med avseende på den aktuella tillämpningen, men ger förhoppningsvis en bra bild av teknikens möjligheter och begränsningar. Förutom avsnitten med tillämpningsexempel avslutas kapitlet med ett avsnitt om FN:s hållbarhetsmål och nya mål för biologisk mångfald (3.9).

3.1 Vegetationskartering i kustzonen

Förändringar i vegetationen inom kustzonen pågår ständigt, vissa förändringar sker snabbt medan andra sker långsamt över längre tidsperioder. Exempel på snabba förändringar är avverkning av skog och olika röjningsåtgärder och bränder, medan förberedelse och anläggning av ny bebyggelse vanligtvis ger långsammare markanvändningsförändringar. Förbuskning och annan igenväxning (ökad biomassa) kan ta många år eller decennier. Snabba förändringar kan också ses i vegetationslinjen (gränsen mellan vegetation och sand längs kusten) efter stormar. Analys av tidsserier av satellitbilder kan ge stöd för förståelsen av dessa förändringar och ger möjlighet till uppföljning av återhämtning inklusive effekt av åtgärder och planering.

Vegetationskartering i kustzonen kan indelas i flera olika tillämpningar som kan vara till stöd för planering. Vegetationslinjen, alltså den linje som följer vegetationens gräns mot den litorala strandzonen eller kartering av status och uppföljning av förändringar inom den kustnära dynvegetationen, men även andra vegetationstypers status och förändring över tid, t.ex. olika våtmarkshabitat kan stödja kustplaneringens olika syften inklusive hänsyn i relation till skyddade områden t.ex. Natura 2000 områden. Förändringar i andel hårdgjorda ytor (urban utveckling) och andra marktäckte och markanvändningsklasser så som andel åkermark, skog, öppen vegetation kan också ha konsekvenser för en hållbar kustzonsplanering.

Tillämpningar som är relaterade till kartering och uppföljning av förändringar av vegetationen i kustzonen och dess avrinningsområden kan stödjas av analys av satellitbilder som ger möjlighet till täckning av stora områden och regelbundna uppdateringar över tid. Satellitbilder från Copernicusprogrammet och satellitbaserade produkter som visar marktäckte och markanvändning vid olika tidpunkter finns tillgängliga (Se Kap. 1.1). Nedan följer några exempel på tillämpningar och projekt och program som ger eller har gett resultat som kan vara användbara.

3.1.1 Exempel 1 - Våtmarkers utbredning och status i kustzonen

Våtmarkernas roll i kustzonen inkluderar, förutom för biologisk mångfald och som habitat för många hotade eller viktiga växt- och djurarter, de ekosystemtjänster våtmarker kan tillhandahålla, t.ex. vattenflödesreglering och balansering (inklusive som buffert vid översvämningar), ökning av tillskott till grundvattnet, förstärkning av landskapets vattenmagasineringsförmåga, vattenrening, rekreation och som kolsänkor. Våtmarker i kustzonen är ofta kopplade till sjöar och vattendrag som mynnar i havet eller till naturligt eller invallade lågt liggande områden innanför dynsystem. Restaurering av gamla våtmarker, och även nyanläggning, görs i kustområden för att förbättra tillgången till våtmarkernas ekosystemtjänster, inklusive kustlandskapets vattenhållande förmåga. Det kan också förhindra oönskade effekter av översvämningar.

Att kunna följa förändringar i våtmarker är särskilt viktigt eftersom förlusten av våtmarker historiskt är mycket omfattande både i Sverige, Europa och globalt ([Homepage | Ramsar](#)). I Sverige är en av de viktigaste orsakerna till minskning dikning och avvattning för att öka tillgång

till användbar mark för både jord- och skogsbruk ([Myllrande våtmarker - Sveriges miljömål \(sverigesmiljomal.se\)](#)).

När det gäller uppföljning av nyanläggning av våtmarker med hjälp av fjärranalys har försök gjorts med högupplösta satellitbilder (t.ex. Borg and Barron, 2021). Resultat från analysen med Landsat bilder från 2000/2001 och 2020 visade att antalet nyanlagda mindre vattenytor (< 4 ha och > 0,8 ha) kan ha ökat från 44 till 101 i Gotlands län och från 44 till 127 i Kalmar län men att det fanns brister i överensstämmelsen mellan fjärranalysresultat och SMHIs våtmarksdatabas och mycket högupplösta data rekommenderas för framtida studier. Nyanlagda våtmarker, dammar och småvatten sker ofta i jordbrukslandskapet eftersom man kan få EU-stöd för det, men nyanläggning sker också i skogslandskapet och i tätorter. Kommuner kan även söka pengar till olika åtgärder genom LONA (Lokal Naturvårdssatsning). Nyanläggningarna är dock ofta relativt små till ytan vilket gör att uppföljning med högupplösta satellitbilder krävs för att säkerställa utveckling av vegetation och öppna vattenytor.

3.1.2 Exempel 2 - Nationell övervakning av våtmarker

Sedan 2007 pågår programmet "Satellitbaserad övervakning av våtmarker" i Naturvårdsverkets regi. Programmet är en del av den nationella miljöövervakningen och omfattar hela Sverige (Hahn et al. 2021). Övervakningen har skett för den öppna myren nedanför fjällkedjan och baseras på jämförelse av förändringar i biomassa mellan två Landsat satellitbilder registrerade med ca 10 års mellanrum. Förändringsanalysmetoden kan ses som en trestegsraket som inkluderar basklassning, d.v.s. indelning av spektralt homogena områden, stratifierad jämförelse med avseende på spektrala förändringar inom basklasserna för de två satellitregistreringarna. Resultatet delas in i de två klasserna "säker" och "potentiell" förändringsindikation där ökad biomassa/igenväxning har identifierats. Minsta karteringsenhet är 0,5 ha. Inom en 500 meters buffertzoon runt förändrade objekt dokumenteras ingrepp och möjliga orsaker. De mest relevanta för förändringar är dikning, skogsavverkning, väg och vattenreglering. Resultaten är validerade med oberoende analys av ortofoton och har också jämförts med förändringsindikationer i den nationella våtmarksinventering VMI (Gunnarsson & Löfroth, 2009) som visar på stor överensstämmelse. Resultat från den satellitbaserade övervakningen används av myndigheter och länsstyrelser för uppföljning av miljömål, som underlag för prioritering av åtgärder och restaureringar och som del i arbetet med uppföljning av skyddade områden (SLU). Mer information och nedladdning av delrapporter är tillgängligt från [Hem \(myrar.se\)](#). Resultat från den nationella övervakningen av våtmarker har också använts i Norrbotten för att identifiera och prioritera våtmarker i behov av restaurering (Backe et al. 2016).

Figur 5 visar ett exempel på förändringsanalys och jämförelse av satellitbilder från 1999 och 2009, med efterföljande utvärdering av förändringsytor på Harön i Hammarsjön, Kristianstads kommun, Skåne län (Hahn & Wester, 2018). En FI-yta (Förändringsindikationsyta) bedömd som "verifierad förändring" är belägen på Harön i sydost. En utvärderingsyta är markerad med röd linje i terrängkartan och satellitbilder för jämförelse. Förändringen bedöms huvudsakligen bero på igenväxning av videbuskar. Ett foto från överflygning bekräftar igenväxningen (Figur 5D).



Figur 5 Modifierad illustration från Hahn & Wester, 2018. På Harön i Hammarsjön finns en FI-yta bedömd som "verifierad förändring", markerad med röd linje i A-C. A) Förändringsindikation från analysen visas med säker förändring i rosarött, potentiell förändring i gult och analyserat område i beigebrunt. I bakgrunden visas GSD terrängkartan. B) Satellitbild från 1999 (Landsat TM, RGB = Band 321), C) Satellitbild från 2009 (Landsat TM, RGB = Band 321) D) Vy i östlig riktning över Harön i Hammarsjön med den verifierade FI-ytan från fältutvärderingen 2017. Foto: Lisa Tenning, Länsstyrelsen Jämtland.

Framtida utveckling

Under arbetet med satellitbaserad våtmarksövervakning har myrvegetationstypskartor efterfrågats av ett flertal länsstyrelser. I samråd med NMD-referensgrupp och Naturvårdsverket har en nomenklatur för finindelning av öppen våtmark i 16 klasser tagits fram och förankrats. Som indata används Sentinel-2 tillsammans med stöddata från fastighetskartan, flygbilder, jordartskartan, kalibreringsdata (flygbildstolkning och fält), myrtypsregioner, VMI och NMD (basskikt, markanvändning, markfuktighet, metadata, objekthöjd, objektäckning). Resultaterande myrvegetationsindelning beräknas vara klar våren 2023.

Kommentarer

Landsats långa tidsserie med satellitdata är mycket användbara för övervakning av våtmarker eftersom de ger god möjlighet till övervakning av förändringar i biomassa och till att identifiera objekt lämpliga för restaurering och återställande av vattenreglerande funktioner.

Befintliga produkter

Högupplösta och mycket högupplösta satellitdata har använts som bas för kartering av marktäckning och markanvändning i olika satellitdataprodukter, med viss möjlighet till uppföljning över tid:

- Copernicus Hotspot Coastal Zone LU/LC - Sex våtmarksklasser i fyra nivåer och 12 vattenklasser i tre nivåer för åren 2012 och 2018, samt förändringslager 2012-2018.
- EEA Ecosystem types v2.1 - Sex våtmarksklasser ([Ecosystem type map \(all classes\) — European Environment Agency \(europa.eu\)](#))
- Nationella Marktäckedata - 3 våtmarksklasser baserade på Sentinel-2 data.
- KNAS - Kontinuerlig Naturtypskartering Av Skyddade områden inklusive Natura 2000, baserat på SPOT-4-5 data.

Andra källor till användbara geodata och information som kan användas som underlag för analys av våtmarkers status och förändringstrender, och som kan jämföras med satellitdata är:

- SMHI – databas med nyanlagda våtmarker inklusive huvudsyfte, t.ex. bevattning, näringsrening, biologisk mångfald, kulturmiljö, rekreation, grundvattenbildning, översvämningskydd, dagvatten, miljögifter. Se <https://vattenwebb.smhi.se/wetlands/>.
- Ramsarområden (<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/skyddad-natur/olika-former-av-naturskydd/vatmarker-skyddade-enligt-ramsarkonventionen>)

3.1.3 Exempel 3 - Vegetationsanalys och kartering av förändringar i kustnära områden

Både högupplösta och mycket högupplösta satellitbilder lämpar sig väl för analys och uppföljning av förändringar av vegetationen i kustområden eftersom stora områden kan avbildas regelbundet. Olika intresseområden och ekosystemtjänster överlappar varandra och står ibland i konflikt. Därför är det viktigt att metoder och data kan redovisas på ett åskådligt och förståeligt sätt. Ökad utbredning av urbana strukturer är ofta nödvändig vilket innebär att vegetationsklädda områden tas i anspråk. Det kräver i sin tur att man tar hänsyn till biologisk mångfald och särskilt sårbara ekosystem för att säkra en hållbar samhällsutveckling. Vissa förändringar är abrupta, som viss urbanisering och avverkning av skog, medan andra kan vara långsamma, som förbuskning eller andra habitatförändringar som orsakas av olika typer av ingrepp inklusive gödsling av hagmarker, dikning eller upphörd eller ändrad markanvändning. Andra mer storskaliga förändringar som försurning och klimat kan också medföra att vegetation utvecklas åt olika håll.

Flera dataset med marktäckning- och markanvändning från olika tidpunkter finns att tillgå för att stödja planering av kustzonen. Copernicus Landservices CLMS tillgängliggör ett antal Europeiska

skikt från olika tidpunkter och som också innehåller så kallade förändringsskikt som visar vilka ytor som har förändrats mellan tidpunkterna, inklusive från vilken klass och till vilken klass.

Sedan 2021 finns som nämnts i det inledande kapitlet ett så kallat lokalt "Hotspot" dataset som heter Coastal Zone mapping (CZ – Coastal Zone LC/LU) med en produkt vardera för referensåren 2012 och 2018 samt en förändringsprodukt. För referensåret 2012 baseras klassningen på mycket högupplöst data från SPOT 5/6 och Plejaderna. För 2018 baseras klassningen på Plejad, Kompsat 3/3A, SuperView-1, SPOT 6/7, TripleSat, PlanetScope och Deimos. Stöddata inkluderar andra Copernicus "Hotspot" lager som Natura 2000, Riparian Zones, och Urban Atlas (endast vissa klasser) samt data från Open Street Map (vägar och järnvägar). Minsta karteringsenhet är 0,5 hektar. Data finns för en 10 km bred kustlinjen och består av 71 marktäckte och markanvändningsklasser. I förändringsskiktet ingår en förändringskod som beskriver ursprungsklass och vilken klass den har förändrats till. Exempel på dessa data visas i Figur 6.

I CLMS ingår också de tidigare nämnda "High Resolution Layers" med europeisk täckning som är baserade på högupplösta data (sedan 2015), på Sentinel-2 samt radardata.

<https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers>:

- Imperviousness (hårdgjorda ytor – 2000, 2006, 2012, 2018 + förändringsskikt)
- Forest (2012, 2015, och 2018 + förändringsskikt)
- Grasslands (2015 och 2018, + förändringsskikt)
- Water & Wetness (2015 och 2018)
- Small Woody Features (2015 och 2018, som släpps 2021)

Förutom Coastal Zone finns även andra så kallade lokala dataset,

<https://land.copernicus.eu/local> där mer specifik och detaljerad information är inkluderad för vissa områden, till exempel "Riparian Zones" och "Urban Atlas".

Svenska dataset av intresse för vegetationsförändringar i kustzoner är:

- Nationella marktäckedata (NMD), som för närvarande ger en aktuell bild (2017-2019). En regelbunden uppdatering av NMD är planerad. NMD data är tillgänglig för nedladdning via Naturvårdsverkets Miljödataportal (<https://miljodataportalen.naturvardsverket.se/miljodataportalen/>)
- Skogsstyrelsen tillhandahåller ett antal skogsrelaterade dataset och tjänster inklusive utförda och planerade avverkningar (<https://www.skogsstyrelsen.se/sjalvservice/karttjanster/>)
- Vegetation och förändringar i skyddade områden finns att hämta dels från [Geodataportalen](https://geodataportalen.se/) och dels genom Naturvårdsverkets kartverktyg för skyddad natur. Data inkluderar nationalparker, naturreservat, naturvårdsområden och övriga skyddade områden som Natura2000 (<https://skyddadnatur.naturvardsverket.se/>).



Figur 6 Copernicus Coastal Zone 2018 marktäck- och markanvändningsdata över norra Skåne och södra Hallandskusten (vänster). Coastal Zone Change 2012-2018 (höger) med exempel på områden som har förändrats nära Båstad, här med etiketter som ger kod för förändringen. Exempelvis 13130 (Construction site) till 11120 (Dense urban fabric), 21100 (Arable land) till 41000 (Managed grassland) eller till 11210 (Industrial), 41000 (Managed grassland) till 13130 (Construction site) och 13130 (Construction site) till 11130 (Low density urban fabric).

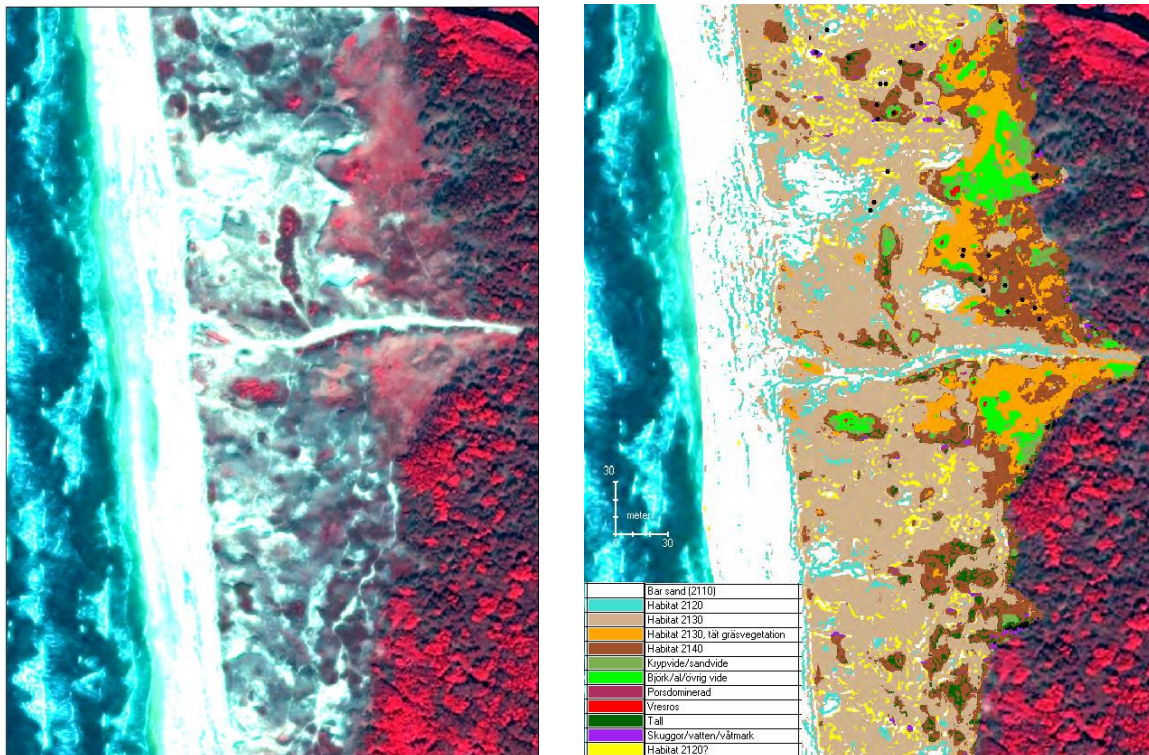
3.1.4 Exempel 4 - Vegetationsförändringar i kustdyner

Dynområden i kustzonen är hem för flera sällsynta och hotade vegetationshabitat. Ett flertal av de svenska dynområdena är skyddade inom Natura 2000-nätverket och vegetationsutvecklingen följs upp inom den regionala miljöövervakningen. Övervakning av förändringar med hjälp av kartering av transekter i fält har förekommit i den svenska Miljöövervakningens regi (Flodin, 2000). De största hoten mot dessa dynhabitat består av igenväxning och ökad av utbredning av invasiva arter som vresros, samt överexploatering eller urban expansion och som följd ökat rekreationstryck.

Ett utvecklingsprojekt finansierat av Rymdstyrelsen och Naturvårdsverket undersökte möjligheten att kartera Natura 2000 strandnaturtyper med hjälp av högupplösta satellitbilder (SPOT 5), inklusive vita och grå dyner (Engdahl och Elcime, 2012). Resultaten visade på potential men att en kombination med andra geodata var nödvändiga för att förbättra avgränsningarna, samt att regionala skillnader föreligger liksom att den utvecklade metoden lämpar sig bättre för vissa Natura 2000 habitat (vita och grå dyner) än andra (fördyner och driftvallar).

I ett annat utvecklingsprojekt genomfört av Brockmann Geomatics som också var finansierat av Rymdstyrelsen, Naturvårdsverket och även Länsstyrelsen i Halland användes QuickBird data för att utvärdera möjligheterna till utveckling av en operationell metod, baserad på mycket högupplösta satellitdata för övervakning av sydsvenska dynhabitat (Boresjö Bronge och Flodin, 2005). QuickBird data i form av sammanslagna satellitband (pan-sharpening) användes för analys. Satellitregistreringen var från 2005-06-18, vilket ansågs vara en optimal tidpunkt för att bäst kunna särskilja olika dynhabitat. Inom projektet utfördes ett omfattande fältarbete i

Laholmsbukten där dynvegetationskomponenter relaterade till Natura 2000 habitat karterades i 2x2 metersrutor. Även negativa komponenter som slyuppslag och förekomst av vresros samt viktiga strukturer som "naken sand" karterades för analys och jämförelse med satellitbilderna. Resultaten var positiva och med hög klassningsnoggrannhet för många habitat, men visade också att viss en justering av själva habitatklasserna skulle kunna öka karteringsnoggrannheten eftersom gränsdragningen mellan Natura 2000 habitaterna har konstruerats för att passa för fältinventeringar. Ofta används förekomst eller avsaknad av lättidentifierade indikatorarter eller strukturer som gräns mellan habitattyperna vilket inte lämpar sig för satellitbildsklassning. En planerad fortsatt utveckling av projektet 2008 och ytterligare test av den framtagna metoden kunde dock inte genomföras på grund av projektledarens sjukdom och bortgång. En uppföljning av projektet och fjärranalysens potential med mycket högupplösta data, med till exempel data från Plejaderna, skulle kunna ge möjlighet att övervaka dessa känsliga dynhabitat över stora arealer. Bildexempel på VHR data i form av en QuickBird-bild från 18 juni 2005 och habitatklassning för Tönnersafältet i Laholmsbukten visas i Figur 7.



Figur 7 QuickBird pan-sharpened multispektral bild över Tönnersa, Halland (vänster) och en preliminär klassning av dynhabitat (höger).

En litteraturgenomgång visar på en mycket begränsad användning av satellitbilder för kartering och uppföljning av förändringar i dynhabitat i Europa. I samband med en kartering av Natura 2000-habitat i brittiska sanddynsområden, med hjälp av flygburen laser och flygburna hyperspektrala data med hög rumslig upplösning, lyfter man behovet av mycket högupplösta data (< 1 m) och potentialen med framtida satellitburna hyperspektrala sensorer (Brownett och Mills, 2017).

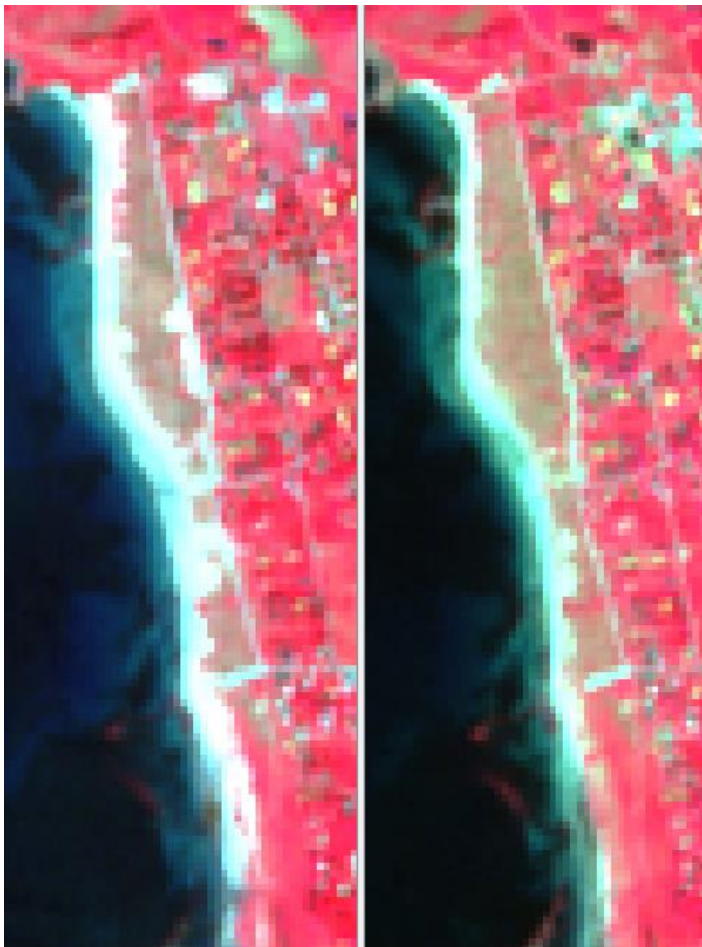
3.1.5 Exempel 5 - Erosionseffekter på vegetation i strandzonen

Under ett antal år till och med 2016 drabbades Båstads kommun av stormar som orsakade erosion och minskad vegetationstäckning på flertalet stränder. Kommunen har använt sig av manuell tolkning av ortofoton för kontroll och kartering av effekterna och vegetationens

återhämtning. En av de stränder som drabbades var Stora Hults strand och linjen mellan sandstrand och dynvegetation karterads och jämfördes med fem års mellanrum.

Ett annat alternativ är att använda satellitdata och automatiserad tolkning för motsvarande kartering. Sand och vegetationstäckta delar av ett strandområde kan särskiljas och karteras med hjälp av deras spektrala signatur. För uppdragets räkning har vi karterat Stora Hults strand med hjälp av bilder från Sentinel-2 för att se om användbara resultat kan erhållas. Baserar man karteringen på Sentinel-2 bilder, som har en relativt låg upplösning med avseende på tillämpningen, men som är fritt tillgängliga, är det möjligt att en enskild pixel motsvarar en blandning av rena sandytor och ytor med vegetation. Man får då en blandpixel, och följaktligen en blandsignatur. I detta exempel har vi använt en metod som kallas "spectral unmixing" för att komma åt vilka "rena" klasser som en pixels spektrala signatur består av. Med avseende på den här tillämpningen var målet att identifiera och särskilja, ren sand, heltäckande vegetation och blandningar av de båda.

Figur 8 visar två Sentinel-2 bilder över Stora Hults strand. Den ena från 2016 efter att området drabbats av erosion under ett antal år. Den andra från 2021 när en stor del av de kala ytorna återhämtat sig och åter är vegetationstäckta. Trots upplösningen är förändringen tydlig.

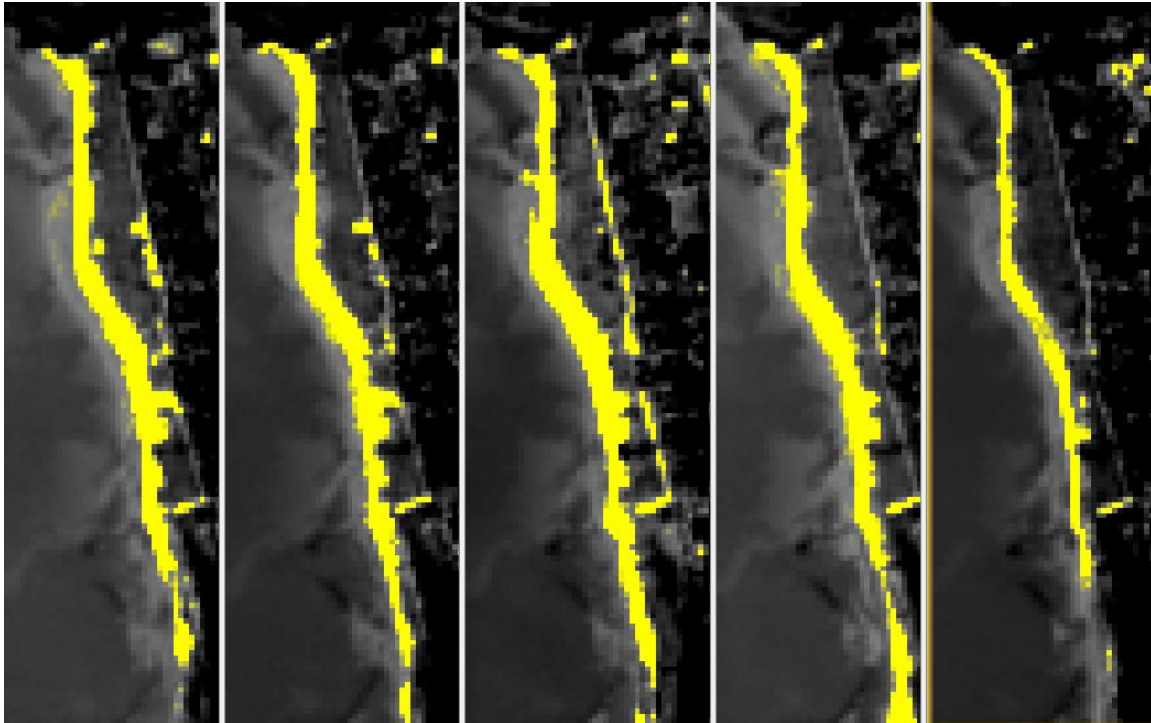


Figur 8 Färgbild (NIR) från Sentinel-2 över Stora Hults strand 2016 (vänster) och 2021 (höger). Båda bilderna är från slutet av maj respektive år. I bilden ser vi vatten till vänster, bebyggelse till höger och strand- och dynamråde.

Efter applicering av "unmixing" algoritmen ("Unmix Operator" i SNAP, ESAs Sentinel Applications Platform) på vårbilder från 2016-18 och 20-21 har pixlar dominerade av sand markerats med gult i resultatbilderna (Figur 9). Sandfläckarna som ligger närmast bebyggelsen

2016, har minskat till 2017 och är nästan försvunna 2018. Bredden på den vegetationsklädda delen av stranden ökar för varje år och med en tydlig ökning mellan våren 2020 och 2021.

Nackdelen med att använda Sentinel-2 jämfört med att göra en liknande kartering med hjälp av ortofoton är att upplösningen är sämre. Det kan förbättras genom att använda mer högupplösta satellitdata. Den stora fördelen är dock att det går att göra karteringar baserat på flera bilder under en säsong och att bilderna finns tillgängliga samma dag som de registreras, vilket underlättar och förbättrar möjligheterna till kontroll och uppföljning. Sentinel-2 data är dessutom gratis.



Figur 9 Sandområden längs Stora Hults strand karterade med hjälp av "spectral unmixing" av fem Sentinel-2 bilder från 2016-2021 (2019 saknas).

3.2 Hydrologiska tillstånd

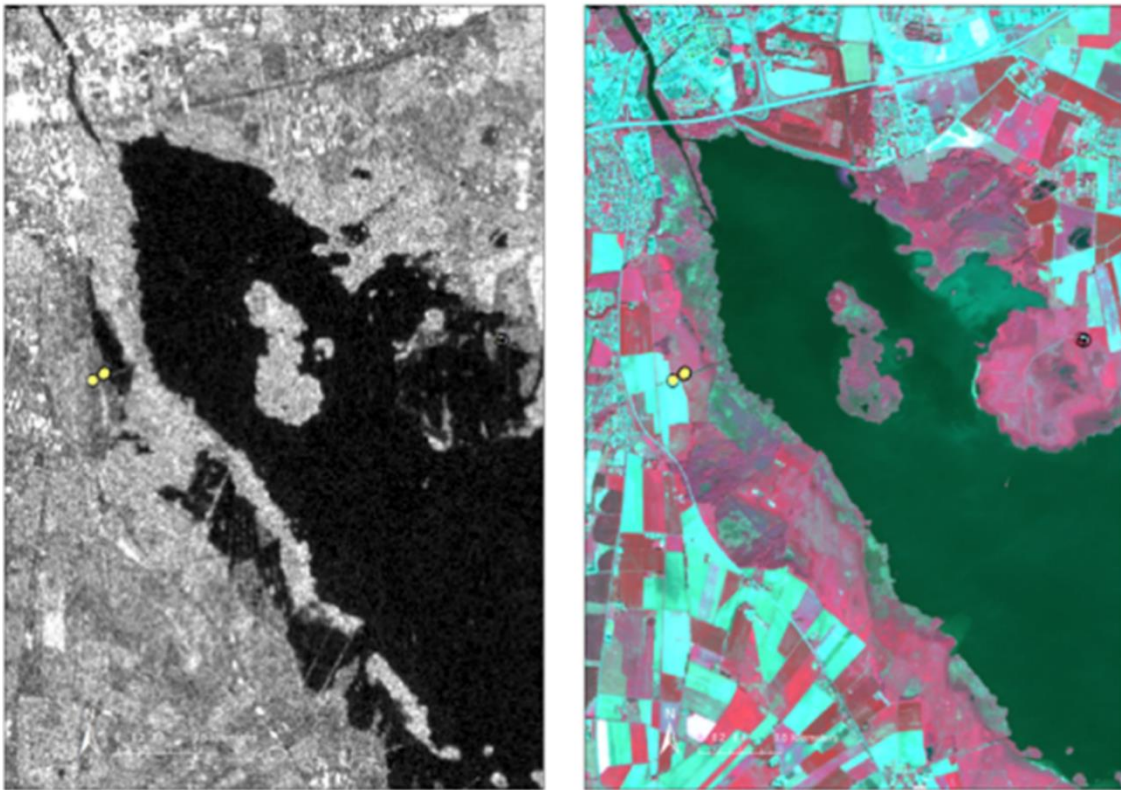
För att kartera en vattenytas utbredning kan man använda olika typer av sensorer. Optiska data är lätt att tolka visuellt och förstå eftersom de delvis mäter i samma våglängdsband som våra ögon. En stor nackdel med optiska data är dock att moln är ogenomträngliga i de våglängdsbanden, vilket begränsar informationsmängden avsevärt. I samband med stora vårfloöden eller stormar och perioder med kraftig nederbörd, är det oftast mycket moln. Att få information med hög tidsupplösning om vattnets utbredning är då kritiskt och ett alternativ är att använda radardata istället, eftersom radar har förmåga att tränga igenom moln. I kapitel 3.2.1 ger vi ett exempel från området kring Hammarsjön i Skåne.

Radardata är inte lika enkelt och intuitivt att förstå. Vill man veta mer och "prova på" kan man besöka ESA hemsida för Sentinel-1 Toolbox. Där kan man få en introduktion, men framför allt ett antal "tutorials" och videos som introducerar ESAs SNAP Sentinel-1 Toolbox med verktyg för att bearbeta och analysera radardata; <https://step.esa.int/main/doc/tutorials/sentinel-1-toolbox-tutorials/>. På YouTube kan man även hitta en instruktionsvideo för att med hjälp av två Sentinel-1 bilder ta fram resultat från som visar vilka vattenytor som kan ses som permanenta och vilka som är översvämmade under en period i ett visst område; <https://www.youtube.com/watch?v=derOXkPCH80>.

3.2.1 Exempel - Förändringar i öppna vattenytor - översvämningar

Att följa förändringar i öppna vattenytor, inklusive de hydromorfologiska komponenterna utbredning och läge (HYMO¹), är viktigt för flera aspekter av kustzonsplanering. Det kan ge värdefull information om riskområden och påverkanszoner för översvämningar och även potentiell påverkan på livsbetingelser för vattenlevande- och landlevande organismer. Med en återbesökstid på 1-2 dagar kan satellitbilder från Sentinel-1 användas för att följa utvecklingen av översvämningar. Sentinel-1 och andra satelliter med radarsensorer har också potential att användas för förbättring av översvämningsmodellering. Öväntad utbredning av öppna vattenytor i samband med översvämningar kan också användas för att påvisa brister i skyddande infrastruktur.

Figur 10 visar ett exempel på utbredningen av översvämmade ytor runt Hammarsjön i en Sentinel-1 bild från 22 november 2017. Den kan jämföras med Sentinel-2 bilden till höger från en torrare period i maj 2015. Ett foto visar översvämmade strandängar den 23 november 2017 (Figur 11). I exemplet har en VV-polariserad bild från Sentinel-1 C-band radar (Frekvens 5,404 GHz) använts, vilket ger en tydlig skillnad mellan land och vatten.



Figur 10 Radarbild från Sentinel-1 från 2017-11-22 som tydligt visar översvämmade strandängar och Hammarsjön (vänster) och RGB bild Sentinel-2 från 2017-05-27 (höger).

¹ Hydromorfologi – Förändringar i konnektivitet (möjligheten till spridning och fria passager för djur, växter med mera), morfologi (fysiska förhållanden som råder i en vattenförekost) och hydrografiska villkor (information om avrinningsområden, sjöar, vattendrag och havsområden), som kan leda till ändrade livsbetingelser för såväl vattenlevande som landlevande organismer i eller i närheten av vattenmiljön. Hydromorfologi förkortas HYMO. <https://www.vattenmyndigheterna.se/om-vattenmyndigheterna/ordlista/h.html>



Figur 11 Fotoexempel från Hammarsjön i Vattenrike, Åsums ängar 2017-11-23 (gula punkter i Figur 10).

3.3 Kartering av kuststrukturer

Strandlinjen är gränsen mellan land och vatten. Detta gränssnitt är dynamiskt och förändras över tid av naturliga och onaturliga orsaker. Vågenergi kan leda till erosion och en tillbakagång av strandlinjen, medan sediment avsätts på andra platser, vilket leder till en ansamling och utökning av strandlinjen. En noggrann övervakning av denna dynamik är en förutsättning för en effektiv förvaltning av kustzonen genom att t.ex. möjliggöra identifiering av erosionsutsatta platser, mäta effekten av olika strukturer eller effektiviteten av olika kustskyddsåtgärder.

Strandlinjens position kan registreras i topografiska undersökningar. Det ger mycket exakta data, men är tidskrävande och relativt dyrt (Apostolopoulos och Nikolakopoulos, 2021). Ett alternativ är att använda ortofoton och högupplösta satellitdata, vilket erbjuder en värdefull och jämförelsevis billig möjlighet att övervaka morfologiska förändringar av kusten, ofta med en ökad tidsupplösning jämfört med fältundersökningar.

Strandlinjens position kan avgränsas manuellt från satellitbilder, men den processen är ineffektiv och noggrannheten kan bero på operatörens erfarenhet (Apostolopoulos och Nikolakopoulos, 2021). Istället har olika tillvägagångssätt för att automatisera processen utvecklats under de senaste decennierna (Toure et al., 2019). En ganska enkel metod, som har använts i decennier, är att använda bandkvoter eller index som betonar kontrasten mellan land och vatten för att sedan definiera tröskelvärden som separerar dem. De metoderna drar fördel av den låga reflektansen av vatten i det nära infraröda (NIR) och/eller i det kortvågiga infraröda (SWIR) jämfört med de flesta landtyper. Flera vattenindex har föreslagits, men Normalized Difference Water Index (NDWI) av McFeeters (1996) används oftast (Apostolopoulos och Nikolakopoulos, 2021):

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

Där "Green" avser pixelvärdet i det gröna våglängdsbandet för en optisk sensor och "NIR" det nära infraröda. Den normaliserade formen av NDWI begränsar den resulterande värmemängden från -1 till 1. Positiva värden indikerar vatten, medan negativa värden indikerar land. NDWI är särskilt lämpad för Sentinel-2 eftersom man då kan nyttja den högsta möjliga rumsliga upplösningen hos sensorerna. Både det gröna och NIR-banden har den bästa rumsliga upplösningen (10 m), medan många andra vattenindex använder SWIR-band, som endast är tillgängliga med 20 meters upplösning från Sentinel-2.

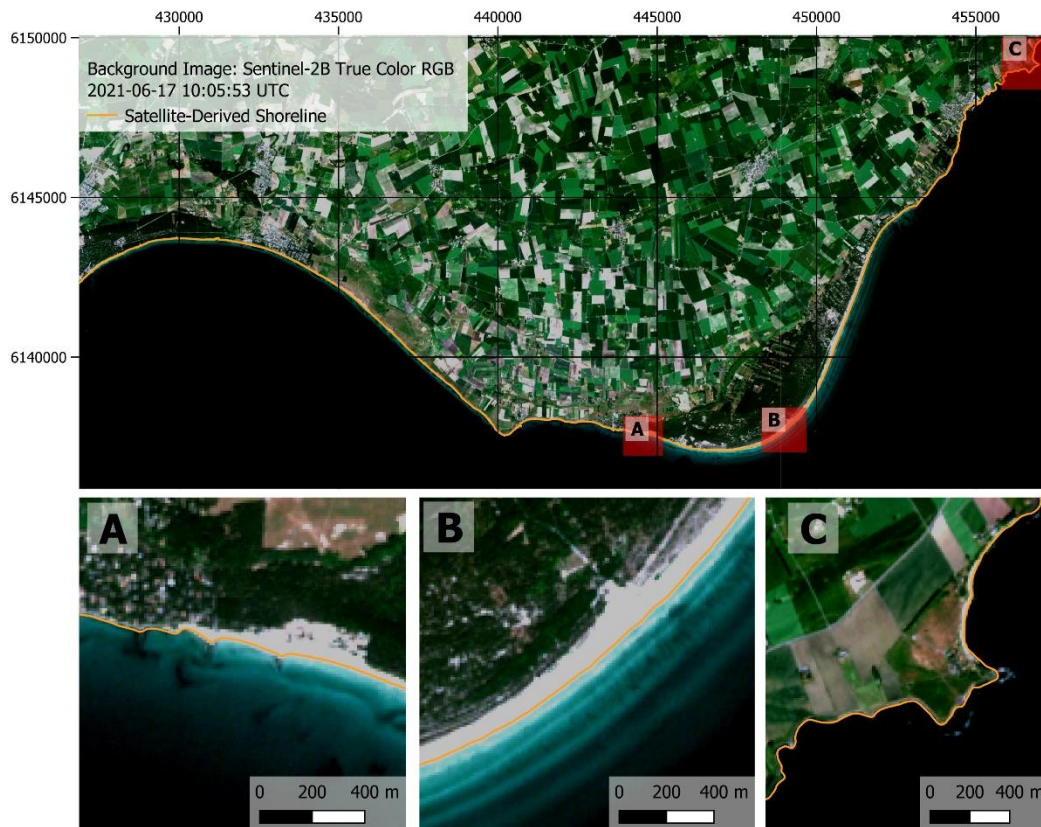
Valet av tröskelvärde för att skilja mellan vatten- och landpixlar är viktigt och rätt valt kan det avsevärt minska felet i resultatet. "Otsu-algoritmen" ger en möjlighet att hitta den tröskel som maximerar variationen mellan vatten- och landklasserna och har visat sig öka noggrannheten i land-vattensegmenteringen (Rad et al., 2021). Som ett efterföljande steg kan man sedan tillämpa algoritmer (t.ex. marching-squares) som gör det möjligt att definiera strandlinjens position inom en pixel, snarare än att rita strandlinjen längs gränserna för en pixel. Den beskrivna rutinen (NDWI+Otsu+marching-squares) har inom ramen för uppdraget använts för att definiera strandlinjepositionen i 11 nästan molnfria Sentinel-2-bilder som täcker kusten mellan Ystad och Simrishamn. Satellitbilderna fångar stranddynamiken mellan 2016 och 2021 och utgjorde indata till en analys av strandlinjens förändring (Kapitel 3.3.1).

3.3.1 Exempel – Kartering av strandlinjens förändring

Elva Sentinel-2 bilder från perioden 2016-2021 har använts för att automatiskt kartera strandlinjens position. Resultatet används här för att analysera och exemplifiera förändringen av strandlinjen och identifiera områden som påverkats av erosion eller tillväxt. För att mäta förskjutningen mellan de olika strandlinjernas positioner skapades en land- och en vattenbaslinje på ett avstånd av 60 m från den yttersta land- respektive yttersta vattenstrandlinjen i varje punkt. Därefter skapades transekter vinkelrätt från vattenbaslinjen till landbaslinjen med ett intervall av 100 m (Figur 15 och Figur 16). Skärningspunkterna för varje strandlinje med varje transekt användes sedan för att beräkna följande förändringsstatistik:

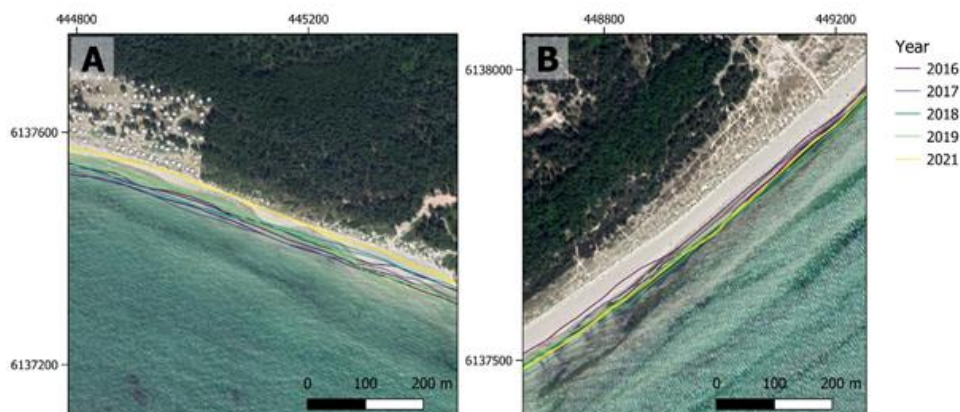
- Net Shoreline Movement (NSM) - Avståndet mellan skärningspunkterna för den tidigaste och den senaste mätningen
- Shoreline Change Envelope (SCE) - Avståndet mellan den mest vatten- och landbaserade strandlinjen
- Linear Regression Rate (LRR) - Den linjära regressionshastigheten (d.v.s. lutningen för den linjära regressionen), vilket ger ett mått på den årliga förändringshastigheten på en specifik plats.

Figur 12 visar den framställda strandlinjen från en Sentinel-2-bild som registrerades den 17 juni 2021 över kusten mellan Ystad och Simrishamn. Bilderna visar att den automatiskt identifierade strandlinjen följer den faktiska. De tre delbilderna (A-C) visar två stränder nära Löderups Strandbad och Sandhammaren Havsbad samt längs kusten mellan Skillinge och Brantevik (Gislövshammar) i mer detalj. Läget för land-vattengränsen är relativt svår att urskilja manuellt i färgbilden. Den satellitbaserade strandlinjen följer dock tydligt gränsen mellan vit sand och ljusblått grunt vatten. Den återspeglar också mönstren för den klippiga kusten från Skillinge ganska exakt.



Figur 12 Exempel på strandlinje framställd från en Sentinel-2 bild från 2021-06-17. Delbild A och B visar en del av stranden nära Löderups Strandbad respektive Sandhammarens Havsbad. Delbild C visar en del av kusten mellan Skillinge och Brantevik (Gislövshammar). Bakgrund: © Google Earth.

Figur 13 visar två regioner där strandlinjens position har förändrats under den 5-åriga observationsperioden. Stranden i A ligger direkt öster om Löderups Strandbad. Kustlinjen direkt framför bebyggelsen är skyddad av stenpirar som effektivt verkar fånga sediment. Öster om stenpirarna indikerar förändringen av strandlinjens position att stranden drar sig tillbaka. Omvänt tycks strandlinjen för strandsegmentet längre österut vid Sandhammarens Havsbad (B) förflyttas från land och därmed vara föremål för en tillväxt.



Figur 13 Satellitbaserade strandlinjer från undersökningsperioden mellan 2016-2021 i närheten Löderups Strandbad (A) och Sandhammarens Havsbad (B). Bilderna motsvarar ungefär de röda rutorna i Figur 12. Bakgrundsbilden är en högupplöst satellit bild från Google Maps från sommaren 2019.

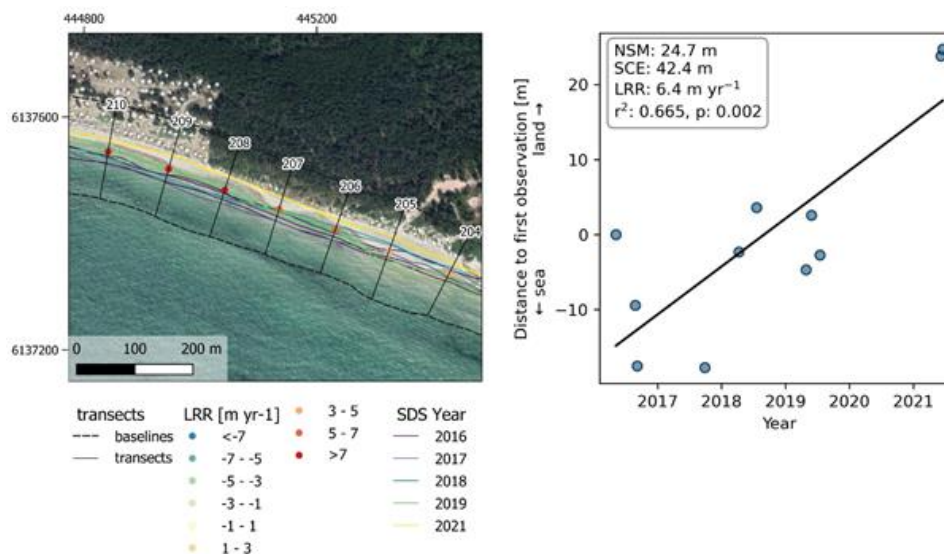
Efter det beräknades förändringsstatistiken (NSM, SCE, LRR) för varje definierad transekt. Större delen av kusten visar inte på någon förändring som är statistiskt signifikant ($p < 0,05$). Figur 14

motsvarar beräknad LRR och indikerar dock att området mellan Löderups Strandbad och Sandhammarens Havsbad är relativt dynamiskt. Sandhammarens sydvästra kust är föremål för statistiskt signifikanta positiva förändringshastigheter (d.v.s. erosion), medan den sydöstra kuststräckan uppvisar (statistiskt inte signifikanta) negativa förändringshastigheter (d.v.s. tillväxt).

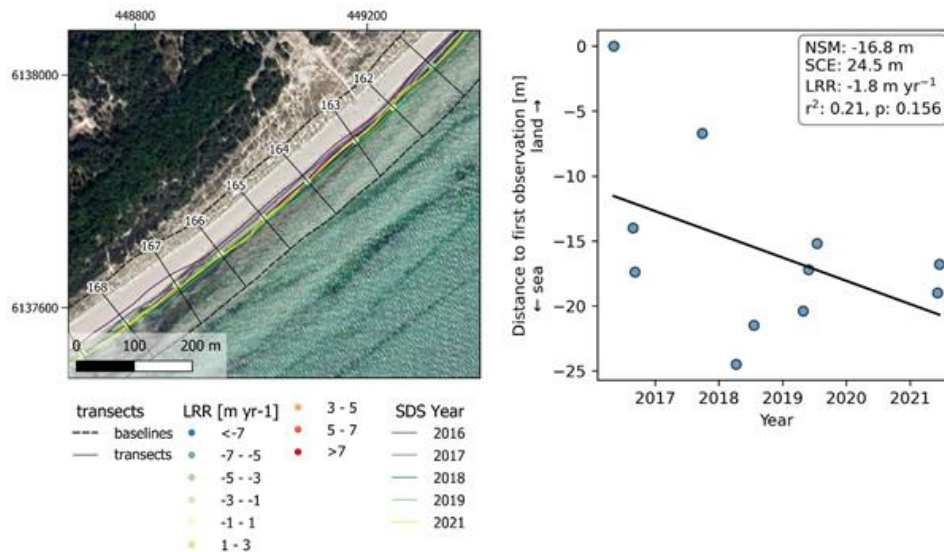


Figur 14 Strandlinjens förändringshastighet (LRR) baserat på 11 mätningar (bilder) mellan 2016 and 2021. Positiva värden indikerar erosion och negativa värden tillväxt. Notera att bara förändringarna i området öster om Löderups Strandbad är statistiskt signifikanta ($p < 0.05$).

Figur 15 visar en detaljerad bild av resultatet av förändringsanalysen vid den eroderande stranden öster om Löderups Strandbad. Diagrammet till höger visar avståndet för varje strandlinjemätning jämfört med den första mätningen vid transekt 207 och indikerar en erosionstrend med avsevärd säsongsvariation. Denna variabilitet kan också ses vid transekt 165, där trenden indikerar en (statistiskt osignifikant) förskjutning av strandlinjen mot havet (Figur 16).



Figur 15 Resultat från förändringsanalysen av stranden öster om Löderups Strandbad. Bilden visar strandlinjen från olika år, förändringshastigheten (LRR) i cirkelna samt baslinjerna och transekterna som ligger till grund för analysen. Positiva LRR-värden indikerar erosion och negativa värden tillväxt. Grafen till höger visar avståndet mellan skärningspunkten av varje strandlinje med transekt 207 i förhållande till den första från 2016 samt regressionslinjen.



Figur 16 Resultat från förändringsanalysen från Sandhammaren Havsbad. Bilden visar strandlinjen från olika år, förändringshastigheten (LRR) i cirkelarna samt baslinjerna och transekterna som ligger till grund för analysen. Positiva LRR-värden indikerar erosion och negativa värden tillväxt. Grafen till höger visar avståndet mellan skärningspunkten av varje strandlinje med transekt 165 i förhållande till den första från 2016 samt regressionslinjen.

Två exempelsatellitbilder har levereras i form av en färgbild (RGB GeoTIFF) tillsammans med de framställda strandlinjerna som shapefiler.

Kommentarer

Förändringsanalysens kvalitet beror kritiskt på noggrannheten hos de satellitbaserade strandlinjerna, som i sin tur bestäms av till exempel satellitbildens geometriska noggrannhet, noggrann molnfiltrering och/eller variationer i vattenstånd (Hagenaars et al., 2018). Största begränsande faktorn är den rumsliga upplösningen för satellitsensorn. Genom att använda marching-squares-algoritmen för att avgränsa strandlinjen i rasterbilden kan en noggrannhet på subpixelnivå uppnås. Däremot bör noggrannheten hos NDWI som land-vattenindikator jämföras med andra index i en särskild valideringsstudie för att säkerställa att det bästa alternativet för området används.

Metodutveckling pågår ständigt och erosionsproblematiken är högaktuell. För närvarande jobbar Brockmann Consult på flera förbättringar med avseende på denna tillämpning. Den ena är en automatiseringsrutin för valet av satellitbilder som är molnfria längs kuststräckan, vilket snabbar upp analysen avsevärt och minimerar risken att missa bilder av god kvalitet.

En annan är fokuserad på själva analysen och det faktum att vi för den demonstrerade metoden bara analyserar strandlinjens förändring var 100:e meter. För att förbättra detta utvecklar vi för närvarande ett nytt mått för att bedöma den genomsnittliga förskjutningen av linjer mellan transekterna. Med denna indikator kan förändringar härledas för områden längs kusten snarare än för enskilda punkter. Dessutom är det planerat att inkludera osäkerheter i förändringsanalysen.

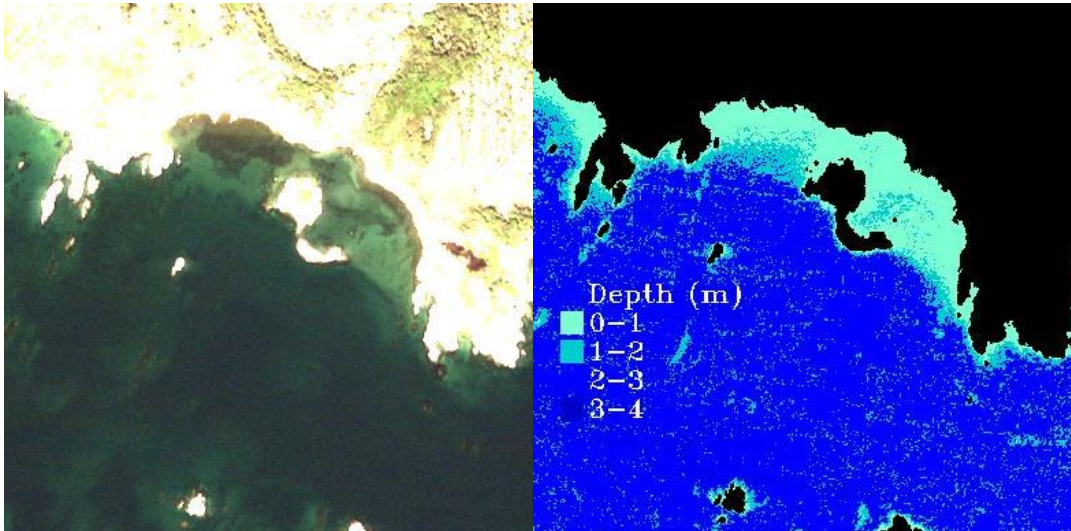
3.4 Djupkartering

I klara tropiska vatten har bestämning av vattendjup baserat på högupplösta satellitbilder visat sig vara framgångsrikt ner till 20-25 meter. För de flesta svenska sjöar och i Östersjön är dock möjligheten att optiskt kartera djup mycket mer begränsade på grund av förekomsten av starkt absorberande färgat löst organiskt material, som begränsar solljusets djuppenetrering. Utöver det tillkommer perioder av ytterligare begränsat siktdjup på grund av bottenresuspension,

utflöden från åar och älvar och algblomning. I samband med tidigare projekt har vi som mest kunnat kartera objekt/ytor på 4 meters djup, men vanligtvis är begränsningen snarare mellan 2-3 meter (Philipsson et al., 2010). Med avseende på djupkartering är det viktigt att välja en period när vattnet är så klart som möjligt, t.ex. tidig vår, eller efter eventuell vårbloomning.

De flesta studier om djupbestämning baserat på optiska data bygger antingen på kalibrering av en bildbaserad empirisk modell med hjälp av tillgängliga fältdata (t.ex. Lyzenga et al., 2006 och Stumpf et al., 2003) eller kalibrering av en analytisk strålningsmodell som består av olika komponenter med avseende på vattnets och botten optiska egenskaper och dess bidrag till den vid ytan uppmätta signalen (Lee et al., 2002). För den första krävs ett antal kända djup i det aktuella området. För den andra krävs viss förkunskap om vattnets och botten optiska egenskaper, och att man förenklar genom att anta att vattenkvaliteten och botten substrat inte varierar inom det undersökta området. Kravet på förkunskaper gör att den mer sofistikerade analytiska varianten inte är enkel eller särskilt generell att använda sig av. Det har även visat sig att noggrannheten för den analytiska modellen sällan kommer upp i samma nivå som den empiriska. Finns det någon form av tillförlitliga djupmätningar i det undersökta området är det alltså bättre att använda det empiriska bildbaserade alternativet.

De ovan nämnda empiriska metoderna (Stumpf et al., 2003) har utvärderats tidigare (Philipsson et al., 2010) med fokus på att producera djupkartor baserat på högupplösta QuickBird- och WorldView-bilder. Metoden uppvisade goda resultat och bygger på att man använder två av sensorns olika färgband, till exempel blått och grönt eller grönt och rött, för vilka vattnet har olika absorptionsegenskaper. I det ena färgbandet kommer ljuset att absorberas snabbare än i det andra. När man då beräknar en kvot mellan dessa band kommer kvoten att förändras med avseende på djupet. Det man sedan måste göra är att kalibrera kvoten mot några kända djup från t.ex. befintliga sjökort eller tillgängliga fältdata. Använder man bara ett färgband kommer man att få felaktigt resultat när botten substratet och/eller vegetationstäckningen varierar. Användandet av en kvot kompenserar för olika substrat/vegetation och i viss utstäckning även för olika belysningseffekter, eftersom de förekommer i båda banden. Exemplet nedan kommer från en QuickBird-bild över Rönnevik, Koster. Den vänstra bilden motsvarar en RGB bild av satellitdata och den vänstra bilden är den resulterande djupkartan. I det här fallet användes djup från ett sjökort producerat av Hydrographica för kalibrering och validering av djupinformationen ($R^2 = 0.82$, $RMSE = 0.42$ and $MAE = 0.32$). Det möjliga djupet som går att kartera begränsas här av det röda bandet/ljuset som inte når lika långt ner som det gröna. I det här fallet kan man se att användandet av en bandkvot kompenserar för vegetationen i Rönnevik.



Figur 17 Utsnitt från QuickBird-bild över Rönnevik, Koster (vänster) och motsvarande bildbaserad djupkarta (höger).

För de flesta tillämpningar krävs viss förbearbetning av satellitbilder. QuickBird bilderna som användes för exemplet på djupkartering i Figur 17 genomgick följande process:

- Geometrisk korrektion och konvertering till önskat referenssystem (t.ex. SWEREF99) med hjälp av kontrollpunkter från Lantmäteriverkets ortofoton.
- Radiometrisk kalibrering, d.v.s. konvertering av bildens digitala grånivåer till s.k. Top-Of-Atmosphere (TOA) radians. Detta steg genomfördes som ett förberedande steg innan atmosfärs- och vågkorrektion.
- Atmosfärskorrektion – korrektion för atmosfärens bidrag till den vid satelliten uppmätta reflektansen. Resultatet är Bottom-Of-Atmosphere (BOA) reflektans baserat på TOA data.
- Vågkorrektion - Vågor, eller snarare solblänk från vågor, påverkar djupkarteringsmöjligheterna genom att sudda ut och dölja havsbotten. Solblänk påverkar också beräkningen av djup baserat på bilddata och bör därför korrigeras för. Genom att ta bort, eller åtminstone minimera, dessa effekter kan en bättre representation av botten skapas och djupskattningarna förbättras (Ex. Hochberg et al.).

Metoden testades även på multispektrala ortofoton (flygbilder) från det nationella DMC arkivet. I de fall ortofotot utgjorde en mosaik av flera bilder var det svårt att uppnå goda resultat på grund av de artefakter som fanns i mosaikerna. Artefakterna uppkommer på grund av olika belysningsförhållanden i de olika bilderna, och delar av bilderna, som har slagits ihop.

3.4.1 Exempel – Kartering av djup från Sentinel-2

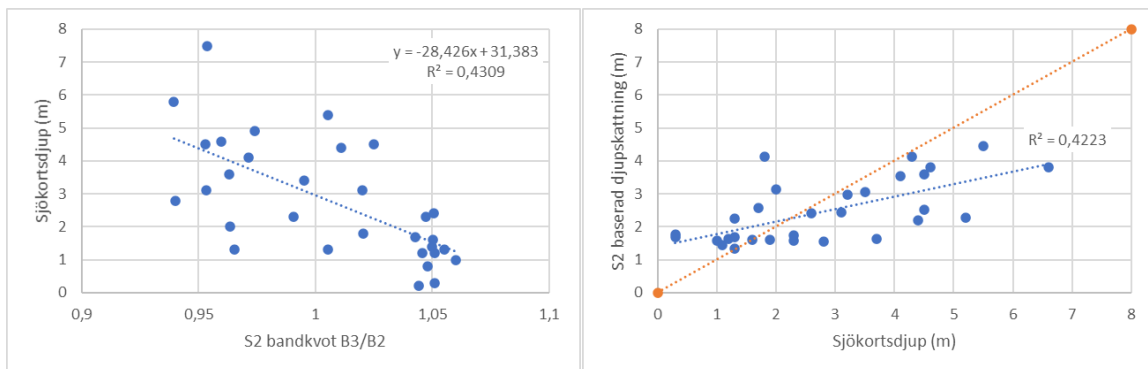
För detta projekts räkning har metoden testats på en Sentinel-2 bild i 10 meters upplösning över Falsterbo (Figur 18). Vi har tillämpat en så enkel approach som möjligt för att vid intresse kunna tillämpa metoden på annan plats eller vid en annan tidpunkt. Den valda bilden är från den 23 september 2020 och är relativt klar och utan moln i testområdet. Bilden är en så kallad Nivå-2 (L2A) bild som laddats ner från Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). L2A betyder att bilden har atmosfärskorrigerats (BOA) med algoritmen Sen2Cor som även finns tillgänglig i SNAP (ESAs Sentinel Applications plattform). En utförligare produktbeskrivning finns att hitta i ESAs "Users Guide": Sentinel. De olika banden undersöktes och bäst djuppenetrering hade Band 3 (560 nm) och Band 2 (490 nm). En bandkvot beräknades enligt Stumpf et al. (2003), som sedan kalibrerades mot sjökortsdjup

från "Eniro på sjön" (Figur 18). 65 djupangivelser från sjökortet kopplades ihop med bildpixlar i S2 bilden. Sjökortets noggrannhet och precision är inte känd i området.



Figur 18 Sentinel-2 bild över Falsterbo, med positioner för identifierade sjökortsdjup (© Sjöfartsverket).

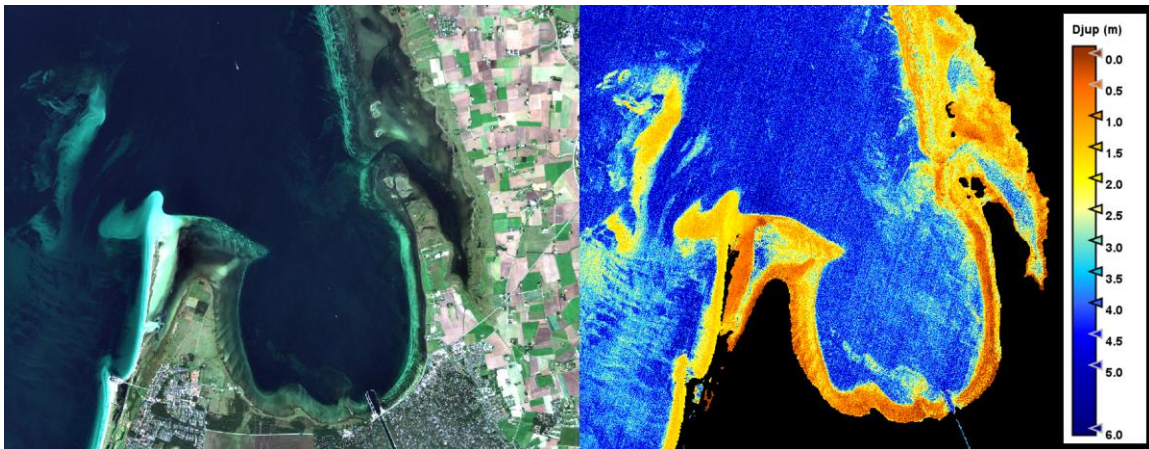
Hälften av de 65 sjökortsdjupen användes för att kalibrera bandkvoten (Figur 19 vänster) och hälften för att validera resultatet (Figur 19 höger).



Figur 19 Relation mellan S2 baserad bandkvot och sjökortsdjup från "Eniro på sjön" (vänster). Relation mellan sjökortsdjup och S2 baserade djupskattningar (höger).

I Figur 19 (vänster) motsvarar varje blå punkt ett medelvärde av 7x7 pixlar (70x70 meter) runt det identifierade djupet. Mindre fönster (1x1, 3x3, 5x5) för medelvärdesberäkning testades också, men R^2 -värdet ökade när fönsterstorleken ökade, vilket tolkas som att det finns en osäkerhet, troligen både i bilddata och i sjökortsdata, som kan minskas genom att jobba med en större yta. Figuren visar också att det finns en relation mellan bandkvoten och djupet, men att spridningen är stor för de olika djupangivelserna och speciellt för större djup. I Figur 19 (höger) har djupet beräknats för valideringspunkterna och plottats mot sjökortsdjupet. En stor andel hamnar nära 1:1-linjen, men flera av de djupare lokalerna underskattas ($R^2 = 0,42$, RMSE = 1,23 and MAE = 0,94). Ytterligare analys och utvärdering behövs för att kunna förstå anledningen till att resultatet inte blir bättre och mest troligt behövs även bättre djupdata för kalibreringen. I

Figur 20 har relationen etablerad i Figur 19 (vänster) applicerats på Sentinel-2 bilden för att skapa en djupkarta. Resultatet ser intressant ut, men det finns områden där tillvägagångssättet inte lyckats kompensera för variation i bottenens beskaffenhet, d.v.s. att vegetationsklädda ytor tolkas som djupare än intilliggande vegetationsfria ytor.



Figur 20 Utsnitt från Sentinel-2-bild över Höllviken (vänster) och motsvarande bildbaserad djupkarta (höger).

Kommentarer

- En av fördelarna med satellitbaserad djupkartering är att stora områden kan täckas samtidigt och att mycket grunda områden kan kartläggas. Det är också i grunda områden som fördelarna och möjligheterna för kartläggning baserad på denna teknik maximeras, eftersom ljusets penetration i vattenpelaren är mycket begränsad i våra vatten.
- Möjligheten att kartlägga batymetri från högupplösta satellitdata är helt beroende av vattnets transparens och goda resultat ner till 3-3,5 meter har erhållits i Östersjön.
- Kalibrering av en djupalgoritm med hjälp av sjökort (Hydrographica) eller LASER-data genererade jämförbara resultat i tidigare studier. Utvärderingen av djupkartorna indikerade möjligheten att uppskatta djupet med en noggrannhet kring 0,3-0,4 meter. För detta uppdrag användes sjökortsdata (Eniro på sjön) och samma låga noggrannhet kunde inte i erhållas.
- Djupkartor kan och bör härledas med ett förhållande av två band (multispektrala data) för att skilja variationer i djup från variationer i bottenens beskaffenhet. Den testade algoritmen är ett empiriskt tillvägagångssätt där parametrarna kan ställas in på några djup från ett sjökort och ändå generera bra resultat.
- Glintkorrigering kan förbättrat resultaten om vågor förekommer i bilden, men denna operation kommer att förstöra bilden i mycket grunda områden (dvs. områden som är synliga i NIR). Om man vid framtida tillämpningar beställer bilder från ett befintligt bildarkiv bör bilden kontrolleras innan den köps.

Befintliga produkter

Det finns inga färdiga batymetriprodukter för nedladdning inom ramen för Copernicusprogrammet och dess servicedelar. I Sverige har Länsstyrelsen i Västerbotten, på uppdrag av HaV, fått uppgiften att testa och utveckla analys av satellitbilder och drönbilder för att skatta vegetationstäckt och vegetationsfri havsbotten. I samband med detta upphandlades DHI Gras för att bygga en analysplattform och för att göra en rikstäckande första analys. Arbetet är inte riktigt avslutat men redovisas i artikeln "Novel approach to large-scale monitoring of submerged aquatic vegetation: A nationwide example from Sweden" (Huber et al., 2021).

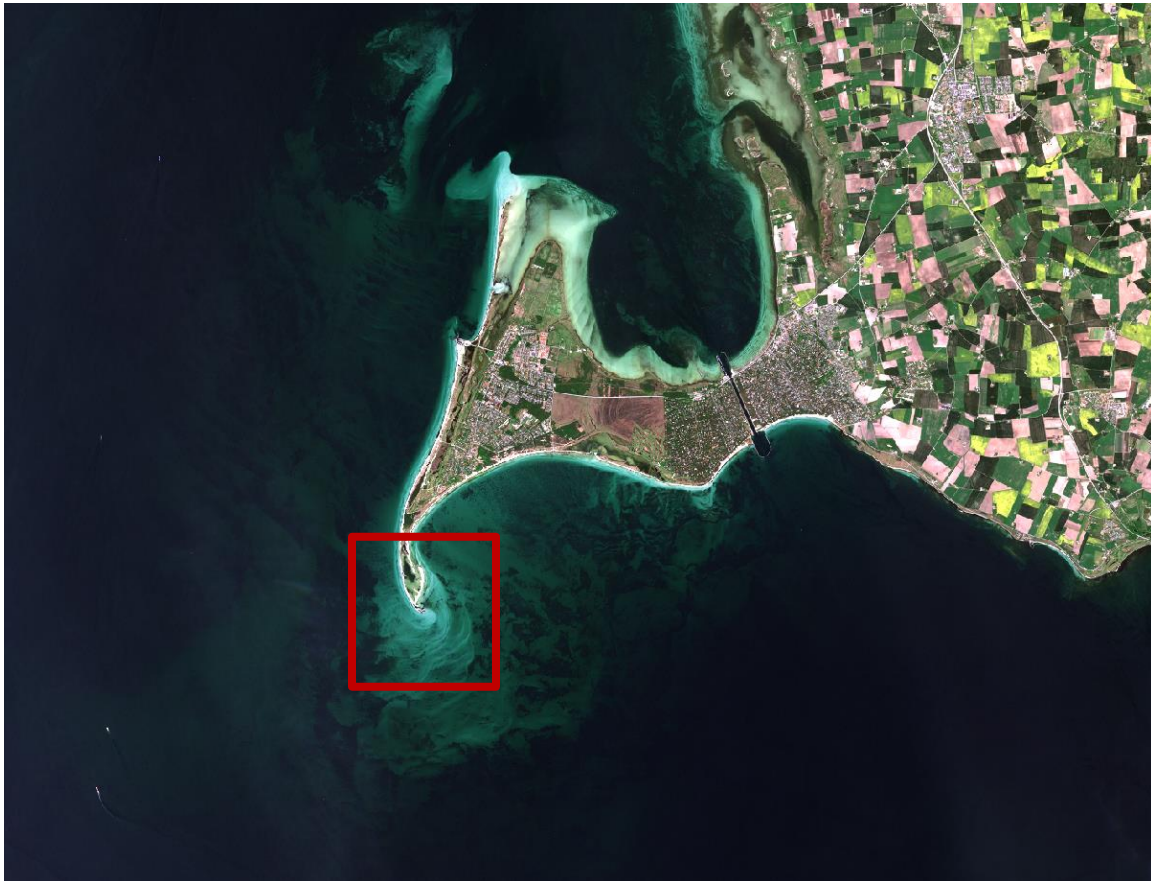
Arbetet är mest relevant med avseende på kartering av bottenvegetation och beskrivs i mer detalj i 3.6 Bottenvegetationskartering. Som en del av metoden framställ dock även ett informationsskikt med djupdata. Skiktet kallas "Satellit derived bathymetry (SDB)" och är en Sentinel-2-baserad djupmätning och utgör ett underlag för vilka områden som sedan kan vegetationskarteras och med vilken osäkerhet. Informationsklassning pågår och SDB-produkten ska sedan göras tillgängliga.

3.5 Bottenstrukturer

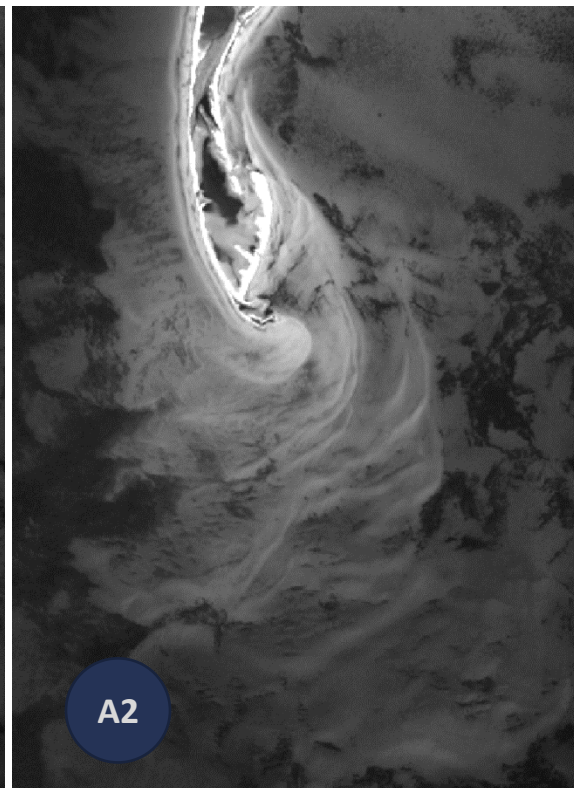
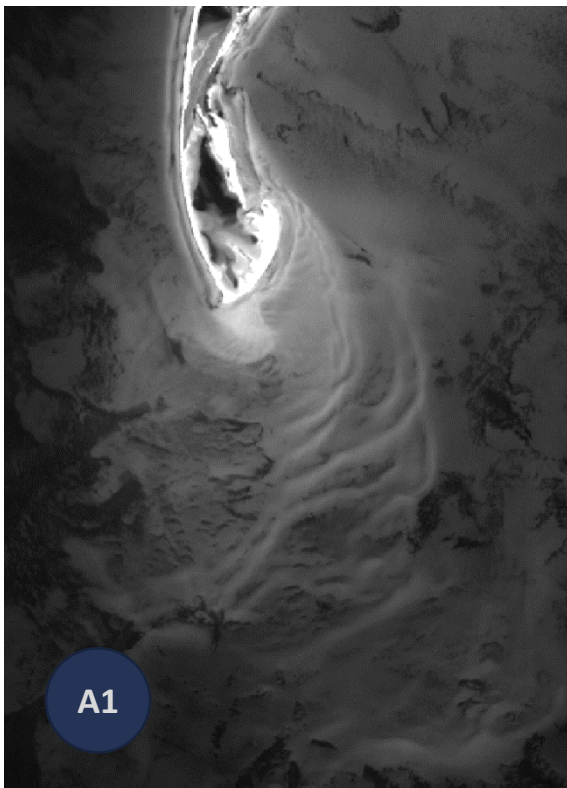
Kustområden och särskilt stränder, hotas mer och mer av de komplexa effekterna av klimatförändring som framkallar påfrestningar som ökad nederbörd, fler stormar och överlag mer frekventa extremhändelser. Dessa händelser kan ge ökad erosion eller modifiering riskområden för översvämning. Eftersom strandnära sandbankar representerar ett naturligt försvarssystem mot dessa fenomen, kan övervakning av dynamiken hos sådana morfologiska strukturer hjälpa till att bedöma effekterna av lång- och korttidshändelser.

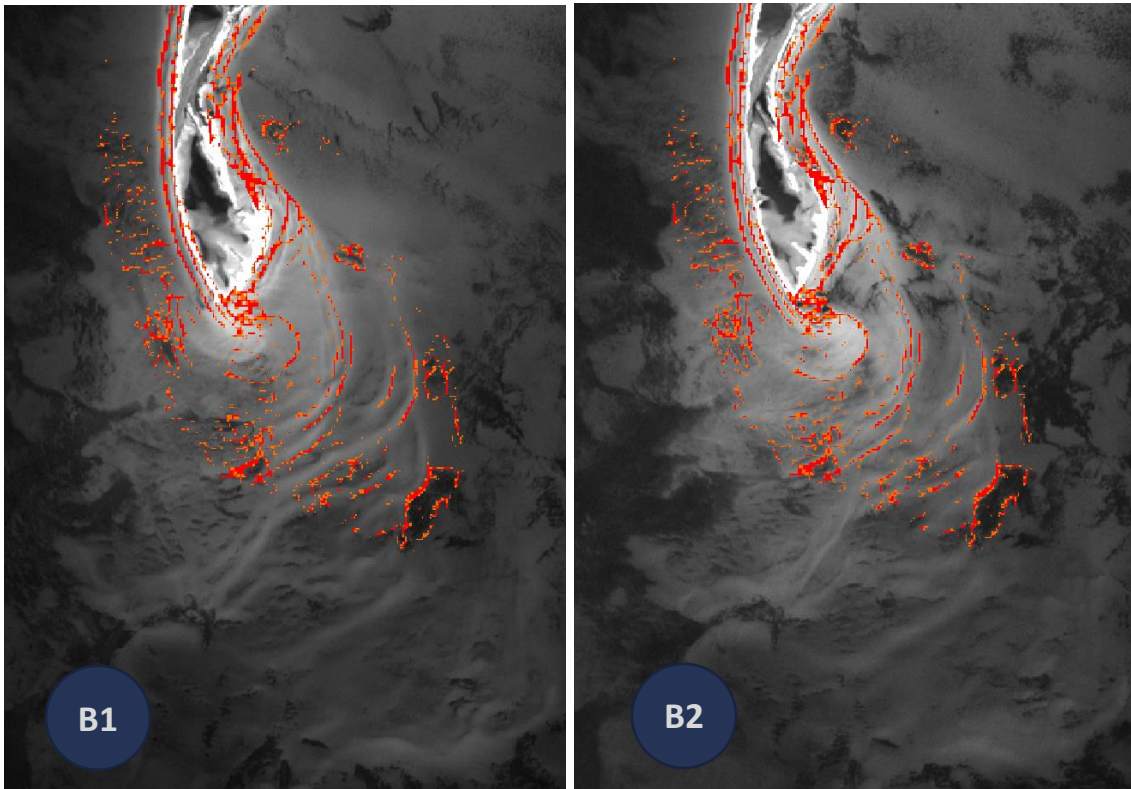
3.5.1 Exempel – Identifiering av undervattensstrukturer i Sentinel-2

Identifiering av bottenstrukturer som sandbankar eller åsar, har gjorts med flera olika metoder, som till exempel ekolodsdata, LiDAR-undersökningar, X-bandradarbilder, flygbilder och olika videotekniker (Roman-Rivera och Ellis, 2019). Optiska satellitbilder kan också användas för att identifiera dessa bottenstrukturer – under vissa förutsättningar. I vårt metodexempel kännetecknas en undervattenssandbank eller ås som ett lokalt reflektansmaxima i det optiska färgbandet. En välkänd metod har utvecklats med hjälp av den hessiska matrisen (Mikolajczyk et al., 2005) och exemplifieras här baserat på Sentinel-2-data. På samma sätt som för djupkarteringen (Kap. 3.4) kontrolleras och använder vi det synliga band som har bäst penetrering i vattnet. I Sentinel-2 Band 3 (10 m upplösning) är sandbankarna väl synliga och bruset acceptabelt (Figur 21). Ett fåtal kontroll- och förbehandlingssteg kan krävas innan algoritmen för detektering av undervattensstrukturer kan tillämpas. Det kan till exempel handla om att välja bilder med lågt vattenstånd och låg turbiditet, att korrigera för solblänk eller att applicera brusreducerande filter. Därefter utfördes beräkningen av gradienter och gradientriktningar på två Sentinel-2 bilder från 2016 respektive 2020 (Figur 21) och pixlar där gradienten har ett lokalt minimum identifierades för att markera åsarna. Strukturerna som kan ses i Figur 22 A1 och A2 har genomgått vissa förändringar mellan 2016 och 2020. I Figur 22 B1 och B2 har de identifierade åslinjerna från 2020 lagts på de båda bilderna för att lättare kunna se förändringen mellan de fyra åren.



Figur 21 Sentinel-2 bild över Skanör-Falsterbo registrerad 21 maj 2020. De detaljerade bilderna i Figur 22 motsvarar området i den röda boxen.





Figur 22 Detaljerade bilder över södra Falsterbo som visar undervattensstrukturer för 2016 (A1) och 2020 (A2). B1 visar 2016 års bild med identifierade strukturer från 2020 i rött. B2 är visat 2020 års bild med samma undervattensstrukturer för jämförelse.

3.6 Bottenvegetationskartering

3.6.1 Exempel-1 – Nationell kartering av vegetationstäckta bottnar

I Sverige har Länsstyrelsen i Västerbotten, på uppdrag av HaV, fått uppgiften att testa och utveckla analys av satellitbilder och drönbilder för att skatta vegetationstäckta (Submerged Aquatic Vegetation, SAV) och vegetationsfri havsbotten samt att utveckla en analysplattform där en användare kan göra egna analyser. I samband med detta upphandlades DHI Gras för att bygga denna analysplattform och för att göra en rikstäckande första analys.

I uppdraget användes Sentinel-2 bilder insamlade under våren och sommaren 2019-2020. Liksom i kapitel 3.4 användes Sen2Cor för atmosfärs- och ytkorrektion av satellitdata. Inför klassificeringen av bildmaterialet definierades mer än 30 000 polygoner och punkter, som representerade klasserna vegetationsklädd botten, vegetationsfri mjukbotten samt vegetationsfri hårbotten. Information användes sedan för träna modeller för tolkning av data genom så kallad ML (Machine Learning). Modellerna applicerades sedan på Sentinel-2 bilderna.

Den efterföljande utvärderingen av klassificeringens noggrannhet gjordes med hjälp av oberoende fältdata från tre olika regioner längs den svenska kusten. Den visade på relativt hög noggrannhet inom grundare områden, särskilt där vattnet ljusgenomsläpp var hög. Den totala noggrannheten varierade mellan 0.60–0.77 för de tre regionerna. Klassificeringen missade dock stora andelar vegetation som växer på djupare vatten (i genomsnitt 31%– 50 %) och presterade dåligt i områden med fragmenterad eller blandad vegetation och sämre vattenkvalitet.

Arbetet är inte riktigt avslutat men redovisas i artikeln ” Novel approach to large-scale monitoring of submerged aquatic vegetation: A nationwide example from Sweden” (Huber et al., 2021). Processen med informationsklassning av datamängden och produkterna pågår och

måste färdigställas av HaV innan de blir allmänt tillgängliga. När det är klart är tanken att följande skikt ska bli tillgängliga:

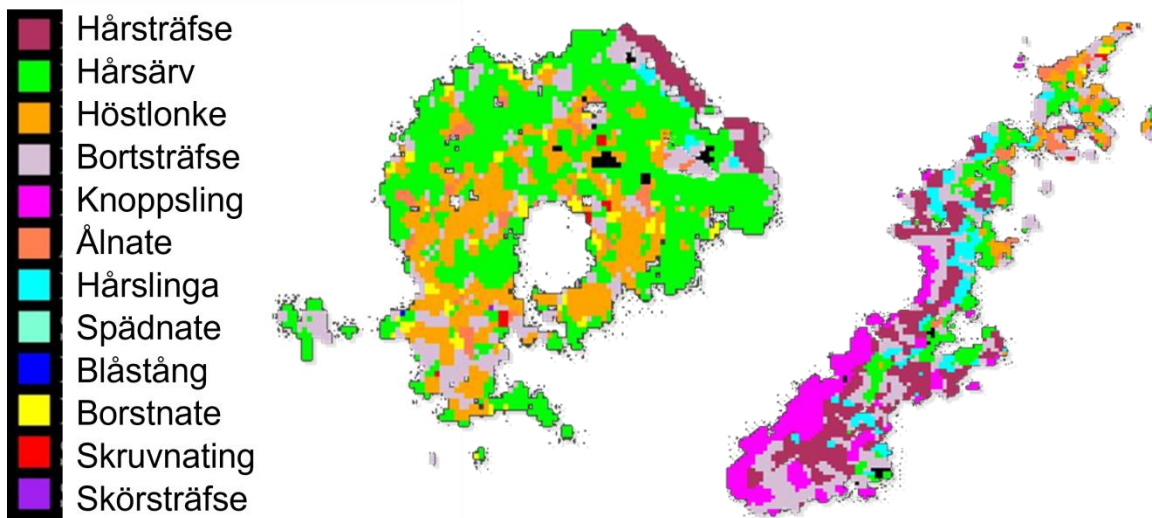
- *“Feasibility layer”* – En karta som visar analysområdet och utgår från Sentinel 2-bilder från 2019-2020 och satellitbaserat djup. Landområden och områden som är optiskt för djupa har maskerats bort. Analysområdet klassas i två klasser: områden i grunt vatten med god sikt (totalt 2 560 km²) och områden i grunt vatten med potentiellt god sikt. Det sistnämnda är ett område som i perioder kan vara grumligt. Den totala ytan som klassificeras uppgår till 3 860 km².
- *“Satellit derived bathymetry (SDB)”* – En karta med satellitbaserade djupskattningar (SDB). Baserad på samma Sentinel-2 bilder som vid avgränsning av analysområde.
- *“Habitat layer”* - Habitatkartan delar in botten i habitatklasserna vegetationsklädd botten (SAV - submerged aquatic vegetation), bar mjukbotten och hårbotten. SAV kan bestå av både fastsittande vegetation och lös drivande vegetationen. Bar mjukbotten består av sand eller annan finkornig mjukbotten som är utan vegetation. Habitatet hårbotten motsvarar grund hårbotten som i södra Sverige oftast är täckt av tång, medan den i norr är täckt av fintrådiga alger eller är i huvudsak bar.

SAV-analysplattformen är tillgänglig och ligger på en server i *“Nationella Rymddatalabbet”* (Se Kap. 1.1.6), d.v.s. hos RISE i Luleå.

3.6.2 Exempel 2 – Vegetationskartering baserat på högupplösta satellitdata

Under åren 2006-2011 genomförde Brockmann Geomatics (och tidigare på Vattenfall Power Consultant) ett antal uppdrag med fokus på klassificering av grunda bottnar med hjälp av högupplösta satellitdata. Ett av de tilltänkta tillämpningsområdena var insamling av data om biologiska, tekniska, miljörelaterade och socioekonomiska aspekter i kustområden. Uppdragen genomfördes i samarbete med slutanvändare som Naturvårdsverket, Fiskeriverket, länsstyrelserna i Uppsala och Stockholms län samt Norrköpings kommun, och med finansiering från Rymdstyrelsen och användarna.

Det finns ett par rapporter från dessa uppdrag (Philipson 2010a och 2011). Sammanfattningsvis visade resultaten att det är möjligt att identifiera vegetationstäckta ytor i högupplösta satellitdata på samma nivå som presenterats i Kap. 3.6.1 ovan. Utöver det konstaterades att det är möjligt att dela upp vegetationen i olika vegetationstyper, till exempel blåstång och annan vegetation, men att det då krävs fältdata från samma område. Resultaten indikerade också att det även skulle kunna vara möjligt att identifiera olika arter, men då endast i mycket grunda områden och för ytor med större homogena populationer. Även i detta fall krävdes ett omfattande fältdatamaterial från samma område.



Figur 23 Vegetationsklassning på artnivå, baserat på QuickBird data från Bryggebadan och Kullaskäret i Gräsö skärgård utanför Öregrund.

3.7 Vattenkvalitetsövervakning

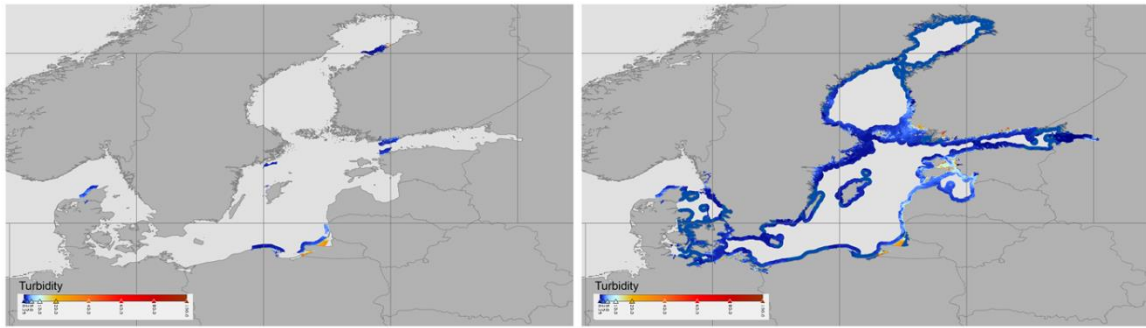
3.7.1 Exempel 1 - Copernicus standardprodukter

Inom ramen för Copernicus Marine Services tillhandahåller ett konsortium bestående av Brockmann Consult, Royal Belgian Institute of Natural Sciences och Flemish Institute for Technological Research vattenkvalitetsprodukter baserade på Sentinel-2 data i 100 meters upplösning för en 20 km bredd zon från kustlinjen. För att begränsa filstorleken tillhandahålls produkterna i segment motsvarande 600x800 km². I samtliga produkter är områden med moln och dis borttagna. Både dags- och månadsprodukter framställs och de produkter som motsvarar daglig "nära realtids"-information (s.k. L3_NRT) tillhandahålls vanligtvis inom 24 timmar efter dagens slut. Moln är den mest begränsande faktorn för hur stor del av kuststräckan som avbildas i de dagliga produkterna. Ett alternativ är att jobba med månadsmedel (s.k. L4) som erbjuder fullständig täckning (Figur 24). De variabler som erbjuds är:

- **Klorofyll a** - mass_concentration_of_chlorophyll_a_in_sea_water (CHL)
- **Ytreflektans** - surface_ratio_of_upwelling_radiance_emerging_from_sea_water_to_downwelling_radiative_flux_in_air (RRS)
- **Turbiditet** - sea_water_turbidity (TUR)
- **Suspenderat material** - mass_concentration_of_suspended_matter_in_sea_water (SPM)
- **Ljusspridningskoefficient** - volume_backwards_scattering_coefficient_of_radiative_flux_in_sea_water_due_to_particles (BBP)

Mer information om produkterna, tittskåp, nedladdningsmöjligheter samt referenser till de algoritmer som används vid framställningen finns på:

- L3-produkter = https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/OCEANCOLOUR_BAL_BGC_HR_L3_NRT_009_202/INFORMATION
- L4-produkter = https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/OCEANCOLOUR_BAL_BGC_HR_L4_NRT_009_208/INFORMATION

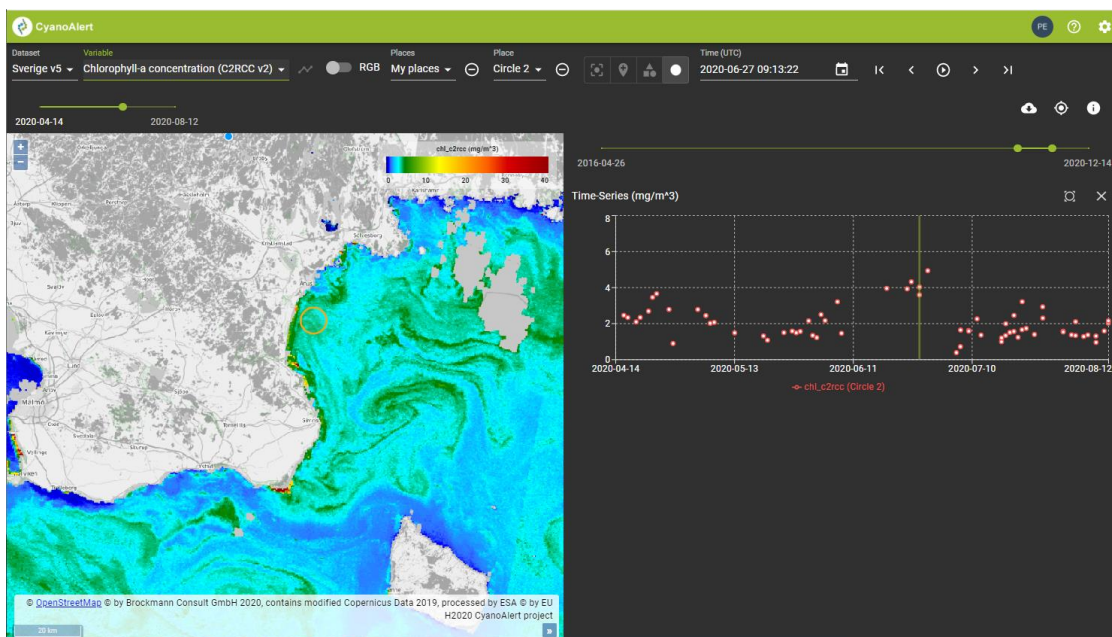


Figur 24 Turbiditet (FNU) från Sentinel-2. Översikterna visar tillgången på vattenkvalitetsinformation från en dag i augusti 2021 till vänster och motsvarande månadsprodukt till höger.

Ovan beskrivna produkter är de mest högupplösta vattenkvalitetsprodukter som fritt och löpande tillhandahålls för kustzonen inom ramen för Copernicus Services. Utöver det finns det en mängd andra produkter och vattenkvalitetsprodukter från andra satellitsensorer av lägre upplösning. För mer information rekommenderas ett besök på <https://marine.copernicus.eu/>.

3.7.2 Exempel 2 – Högupplöst vattenkvalitet och anpassade tjänster

Service- och produktbudget inom Copernicus Services är begränsat och har som mål att tillgodose generella behov på en mer nationell och regional nivå. Ofta finns det dock stora behov på lokal nivå, som vanligtvis kräver högre upplösning i tid och rum och en vidareförädling av data till information anpassad för tillämpningen. En av huvudaktiviteterna på Brockmann Geomatics är just användar- och tillämpningsanpassad leverans av vattenkvalitetsinformation. Servicen är baserad på Sentinel-2 och Sentinel-3 bilder, men informationen aggregeras bara om användaren så önskar. Som användare kan man då få tillgång till data och produkter (klorofyll, turbiditet, suspenderat material, siktdjup och risk för cyanobakterie) via en viewer (Figur 25) eller via en mailbaserad varningstjänst. Viewern är inte bara ett tittskåp utan erbjuder även funktionalitet för användarens egna analyser, som till exempel att skapa tidsserier för en intressepunkt. Servicen tillhandahåller även en mobilapp som är öppen och tillgänglig för alla och som ger användaren information om klorofyllkoncentration för den valda positionen samt om det föreligger en risk för att det är cyanobakterier som blommar.



Figur 25 Sentinel-3 baserad klorofyllkarta från 27 juni 2020. Tidsserien till höger visar alla klorofyllskattningar från 14 april – 12 augusti 2020 för ett användardefinierat område utanför Åhus.

Kartan i Figur 25 har en upplösning på 300 meter och kan, vid molnfria förhållanden, uppdateras två gånger om dagen. Motsvarande verktyg och produkter kan även levereras baserat på Sentinel-2 data. Mer information finns på <https://cyanoalert.com/>.

3.8 Ytvattentemperatur

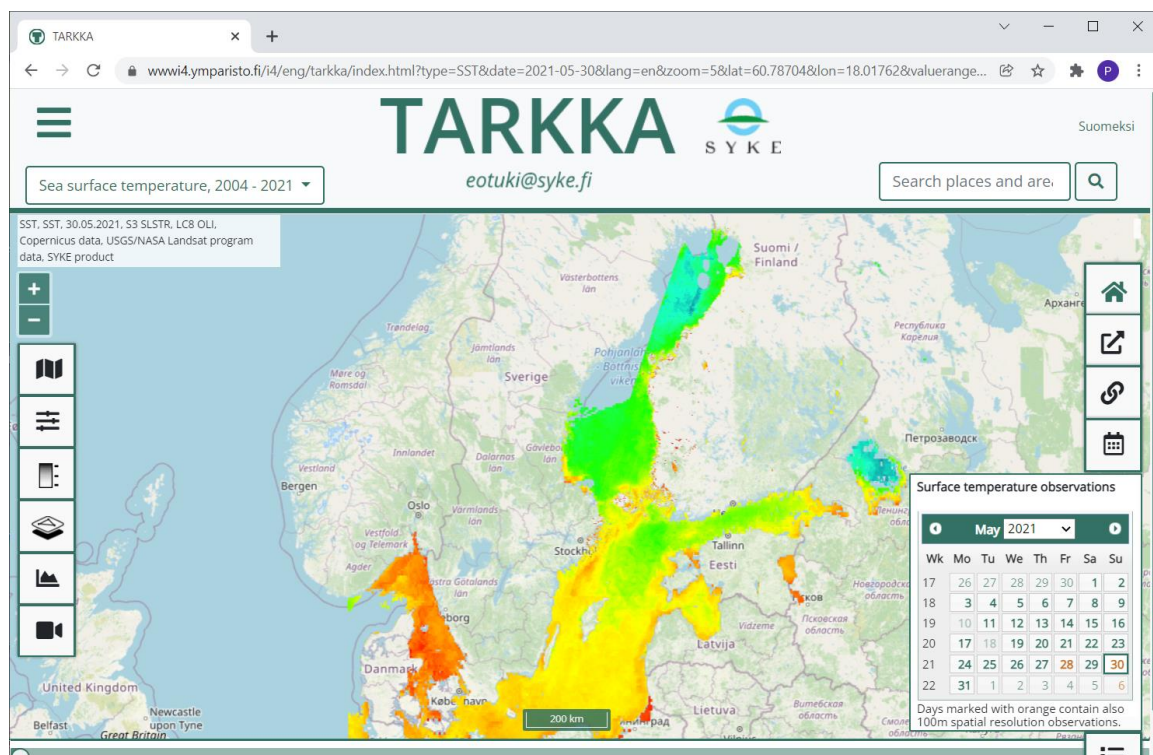
Copernicus Marine Services tillhandahåller ett antal temperaturoprodukter, men samtliga har relativt låg upplösning, $0.02^\circ \times 0.02^\circ$, vilket motsvarar en upplösning på drygt 2 km. Det innebär att den strandnära zonen inte omfattas av dessa produkter.

Copernicus satelliten Sentinel-3 har flera instrument ombord. Ett av dem är SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer). Huvudsyftet med instrumentet är att tillhandahålla global ytvattentemperatur med en osäkerhet på $\pm 0,3$ K, men även för mätning av landytetemperatur och övervakning av bränder. Liksom för övriga standardprodukter kan man komma ner i rumslig upplösning (500 meter) om man laddar ner data på en mer oförädlad nivå och bearbetar den själv.

Ett mer högupplöst alternativ för ytvattentemperatur kan man få från satelliterna i NASA/USGS Landsat-program (Tabell 2). Temperaturkartorna från Landsat-8 täcker 185x185 km och har en upplösning på 100 meter. Mer information finns på

<https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-8-oli-operational-land-imager-and>. Där finns även länkar för nedladdning av data.

Finlands miljöcentral (SYKE) tillhandahåller den offentliga tjänsten TARKKA för Östersjön som bland annat innehåller temperaturdata i både 100 meters och 1 km upplösning (Figur 26). I TARKKA kan man se alla SYKEs öppna satellitdata och produkter. Tjänsten finns på [TARKKA \(ymparisto.fi\)](https://ymparisto.fi).



Figur 26 Temperaturinformation från den 30 maj 2021 presenterad TARKKA, Finlands miljöcentralens tjänst för satellitdata och produkter.

3.9 FN:s hållbarhetsmål och nya mål för biologisk mångfald

Kustzonsförvaltning med integrerad kustzonsplanering som styrmedel för mänskliga aktiviteter kan bidra till att nå hållbara lösningar för havs- och kustekosystem och biologisk mångfald och därmed medverka till att nå svenska miljökvalitetsmål och FN:s 2050 vision "Living in Harmony with Nature" inklusive FNs Agenda 2030 och relaterade hållbarhetsmål (se t.ex. <https://www.scb.se/hitta-statistik/temaomraden/agenda-2030/>). Två av de 17 hållbarhetsmålen (Sustainable Development Goals- SDG) är av särskild relevans:

- SDG 15 Hållbara ekosystem och biologisk mångfald - Skydda, återställa och främja ett hållbart nyttjande av landbaserade ekosystem, hållbart bruka skogar, bekämpa ökenspridning, hejda och vrida tillbaka markförstörelsen samt hejda förlusten av biologisk mångfald
- SDG 6 Rent vatten och sanitet för alla - Säkerställa tillgången till och en hållbar förvaltning av vatten och sanitet för alla

Även SDG 9, Hållbar industri, innovationer och infrastruktur och SDG 11 Hållbara städer och samhällen är mål där som har relevans för kustzonsplanering då de söker säkerställa utveckling av motståndskraftig infrastruktur och hållbara bostäder.

En integrerad kustzonsplanering har potential att stödja en hållbar samhällsutveckling och bidra till att i framtiden implementera det nya ramverket för det globala arbetet för biologisk mångfald - det så kallade "Post-2020 Global Biodiversity Framework (GBF)" – som håller på att tas fram genom konventionen för biologisk mångfald, CBD (Convention on Biological Diversity, <https://www.cbd.int/conferences/post2020>). Ett godkännande av alla medverkande stater förväntas kunna ske i maj 2022 och kommer därefter att implementeras i nationella strategier och planer. Nya mål för 2050, inklusive delmål för 2030 inklusive milstolpar och indikatorer, är under utveckling och kan ses som en vidareutveckling av de s.k. Aichi Targets <https://www.cbd.int/sp/>, vilka omfattas av ett formellt svenskt åtagande. Sverige deltar i arbetet (regeringsuppdrag) i samverkan mellan olika myndigheter och samhällssektorer (Naturvårdsverket, 2021) som även i fortsättningen ska beakta Agenda 2030, det nya GBF ramverket och ta hänsyn till relevanta delar i EU:s strategi för biologisk mångfald för 2030 ([EU's Biodiversitetsstrategi 2030](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_sv)), inklusive EUs Gröna giv https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_sv).

Satellitdata och satellitdata produkter har de senaste åren bidragit till att ta fram mätbara indikatorer på hög nivå för att följa upp förändringar i biodiversitet och för rapportering mot ovanstående strategier och mål. Flera exempel ges av Skidmore et al. (2021) som identifierade 120 biodiversitetsprodukter innehållande avgörande information om förändringar och som kan tas fram med hjälp av fjärranalys.

Sedan oktober 2021 leder Brockmann Geomatics BIOMONDO, ett 2-årigt projekt finansierat av ESA om satellitbaserat stöd till övervakning av biodiversitet i sötvatten. Projektet är ett av tre så kallade "Biodiversity+ Precursors" som ska bidra till det gemensamma EU-ESA initiativet med fokus på jordsystemvetenskap (EC-ESA Earth System Science Initiative). Initiativet lanserades i februari 2020 och ska sätta fokus på jordens system och dess respons på de globala utmaningar som samhället står inför. ESAs Biodiversity+ Precursors kan ses som förberedande pilotprojekt inför kommande satsningar och inkluderar i dagsläget även två andra projekt med fokus på land och kust. BIOMONDO avser alltså sötvattenrelaterade ekosystem och ekosystemtjänster, vilket inkluderar sjöar, våtmarker, floder och vattendrag och hur satellitbaserade produkter kan stödja utvecklandet av indikatorer för att kunna följa de globala, regionala och nationella miljömålen för 2030 och 2050.

4 Referenser

Apostolopoulos, D. och Nikolakopoulos, K., 2021. A review and meta-analysis of remote sensing data, GIS methods, materials and indices used for monitoring the coastline evolution over the last twenty years. *European Journal of Remote Sensing*, Vol. 54, issue 1, <https://doi.org/10.1080/22797254.2021.1904293>

Backe S., Hahn N. och Wester K., 2016. Länsstyrelsens rapportserie nr 6/2016. Tillgänglig via [FULLTEXT01.pdf \(diva-portal.org\)](#)

Birgander J. och Nilsson T., 2019. Metoder för övervakning av sandstränder. Länsstyrelsen Rapport nr 2019:26. Tillgänglig via [Metoder för övervakning av sandstränder | Länsstyrelsen Skåne \(lansstyrelsen.se\)](#)

Boresjö Bronge, L. och Flodin, L-Å., 2006. Mycket högupplösande satellitdata för övervakning av dynhabitat – En pilotstudie. Länsstyrelsen Halland, ISSN 1101–1084. Tillgänglig via [Microsoft Word - dyner_status2005_ny_juni2006_tryck.doc \(diva-portal.org\)](#)

Copernicus, (2021), CA Nomenclature Guideline, Issue 1.2. Coastal Zones nomenclature and mapping guideline. <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/coastal-zones-nomenclature-and-mapping-guideline.pdf>.

Engdahl, A. och Elcism, E., 2012. Utveckling av metodik för kartering av Natura 2000 strandnaturtyper med hjälp av satellitbilder. Slutrapport till Rymdstyrelsen, DNR 217/11.

Flodin, L. Å., 2000. Övervakning av halländska dynhedrar. I Miljöövervakning i Hallands län 1999. Länsstyrelsen Halland meddelande 2000:17.

Gunnarsson, U. och Löfroth, M., 2009. Våtmarksinventeringen – resultat från 25 års inventeringar Nationell slutrapport för våtmarksinventeringen (VMI) i Sverige. Naturvårdsverkets Rapport 5925. [Våtmarksinventeringen – resultat från 25 års inventeringar ISBN 978-91-620-5925-5 \(naturvardsverket.se\)](#)

Hagenaars, G., Vries, S. de, Luijendijk, A.P., Boer, W.P. de och Reniers, A.J.H.M., 2018. On the accuracy of automated shoreline detection derived from satellite imagery: A case study of the sand motor mega-scale nourishment. *Coastal Engineering* 133 (1), 113–125.

Hahn N., Wester K. och Gunnarsson U., 2021. Satellitbaserad övervakning av våtmarker – Nationell slutrapport första omdrevet. Naturvårdsverkets Rapport 6950. [Satellitbaserad övervakning av våtmarker : Nationell slutrapport första omdrevet \(diva-portal.org\)](#)

Hahn N. och Wester K., 2018. Satellitbaserad övervakning av våtmarker – Slutrapport Södra Sverige. Länsstyrelsens Rapport 18:01/05. [Satellitbaserad övervakning av våtmarker : Nationell slutrapport första omdrevet \(diva-portal.org\)](#)

Hedenås, H., Åkerholm, M. och Hedblom M., 2017. Behovsanalys och förslag till framtida verksamhet i våtmarksövervakningen, En delutredning inom revisionen av Naturvårdsverkets miljöövervakningsprogram Våtmarker. SLU Arbetsrapport 473 2017. Tillgänglig via [Behovsanalys och förslag till framtida verksamhet i våtmarksövervakning \(slu.se\)](#)

Hochberg E.J. Andréfoüet S. and Misty R. T., 2003. Sea Surface Correction of high spatial resolution IKONOS images to improve bottom mapping in near-shore environments. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, Vol. 41, No. 7.

Huber, S., Hansen, L.B., Nielsen, L.T., Rasmussen, M.L., Sølvsteen, J., och Berglund, J., 2021 Novel approach to large-scale monitoring of submerged aquatic vegetation: A nationwide

- example from Sweden. Integrated Environmental Assessment and Management, Vol. 00, Number 00, pp. 1–12.
- Larsson C. 2003. Analys av fysisk störning längs Skånes kust. Länsstyrelsen Rapport nr 2003:45. Tillgänglig via [Fysisk störning.pdf \(lansstyrelsen.se\)](#)
- Lee Z., Carder K. L., Arnone R. A., 2002. Deriving inherent optical properties from water color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters. *Applied optics*, 41(27), 5755-5772
- Lyzenga D.R., Malinas N.P., Tanis F.J., 2006. Multispectral bathymetry using a simple physically based algorithm. *IEEE Trans Geosci. Remote Sens.*, 44(8):2251–2259.
- Rad, A.M., Kreitler, J. och Sadegh, M., 2021. Augmented Normalized Difference Water Index for improved surface water monitoring. *Environmental Modelling & Software* 140 (1), 105030.
- McFeeters, S.K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* 17 (7), 1425–1432.
- Mikolajczyk K., Tuytelaars T., Schmid C., Zisserman A., Matas J., Schaffalitzky F., Kadir T., Van Gool L. A comparison of affine region detectors. *International Journal of Computer Vision* 65(1/2):43-72, 2005, DOI: 10.1007/s11263-005-3848-x
- Moskalik, M., Strzelecki, M. et Lim, M. (2015) « Multidecadal (1960 – 2011) shoreline changes in Isbjørnhamna (Hornsund, Multidecadal (1960 – 2011) shoreline changes in Isbjørnhamna (Hornsund , Svalbard) », (November 2016). doi: 10.1515/popore.
- Metria AB, 2014. Satellitdata för kartläggning av kusterosion. RYS dnr 225/12.
- Naturvårdsverket, 2021. Konventionen om biologisk mångfald - Uppdrag i Naturvårdsverkets regleringsbrev för budgetåret 2021. Ärendenr NV-00198-21.
- Philipson, P. och Eriksson, K., 2010a. Classification of shallow sea beds – a pilot study east of Gräsö. Rapport, Rymdstyrelsen, Dnr 204/08 and 42/08.
- Philipson P., Jakobsson L., Wallhage M., Gustafsson L. och Skogvik, J., 2010a. High resolution satellite data for depth estimations and mapping of maritime objects. Rapport , Rymdstyrelsen, Dnr 167/06 and 191/07.
- Philipson, P., Siljeholm, E. och Edlund, J., 2011. Classification of shallow sea beds in high resolution satellite data. Rapport, Rymdstyrelsen, Dnr 168/06 and WWF, Dnr 2264-213869.
- Ramsar Convention on Wetlands. (2018, 2021). Global Wetland Outlook: State of the World's Wetlands and their Services to People. And special edition 2021. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat, <https://www.global-wetland-outlook.ramsar.org/outlook>
- Román-Rivera, M.A. and Ellis, J.T., 2019. A synthetic review of remote sensing applications to detect nearshore bars. *Marine Geology*, 408: 144–153.
- Skidmore, A.K., Coops, N.C., Neinavaz, E. et al. Priority list of biodiversity metrics to observe from space. *Nat Ecol Evol* 5, 896–906 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01451-x>
- Stumpf R.P., and Holderied K., 2003. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnology and Oceanography*, 48(1, part 2), 547-556.
- Ter Borg, R. N. and Barron J., 2021. Development of constructed wetlands in agricultural landscapes using remote sensing techniques. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – soil and Plant Science*. <https://doi.org/10.1080/09064710.2021.1993993>
- Toure, S., Diop, O., Kpalma, K. och Maiga, A., 2019. Shoreline Detection using Optical Remote Sensing: A Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8 (2), 75.