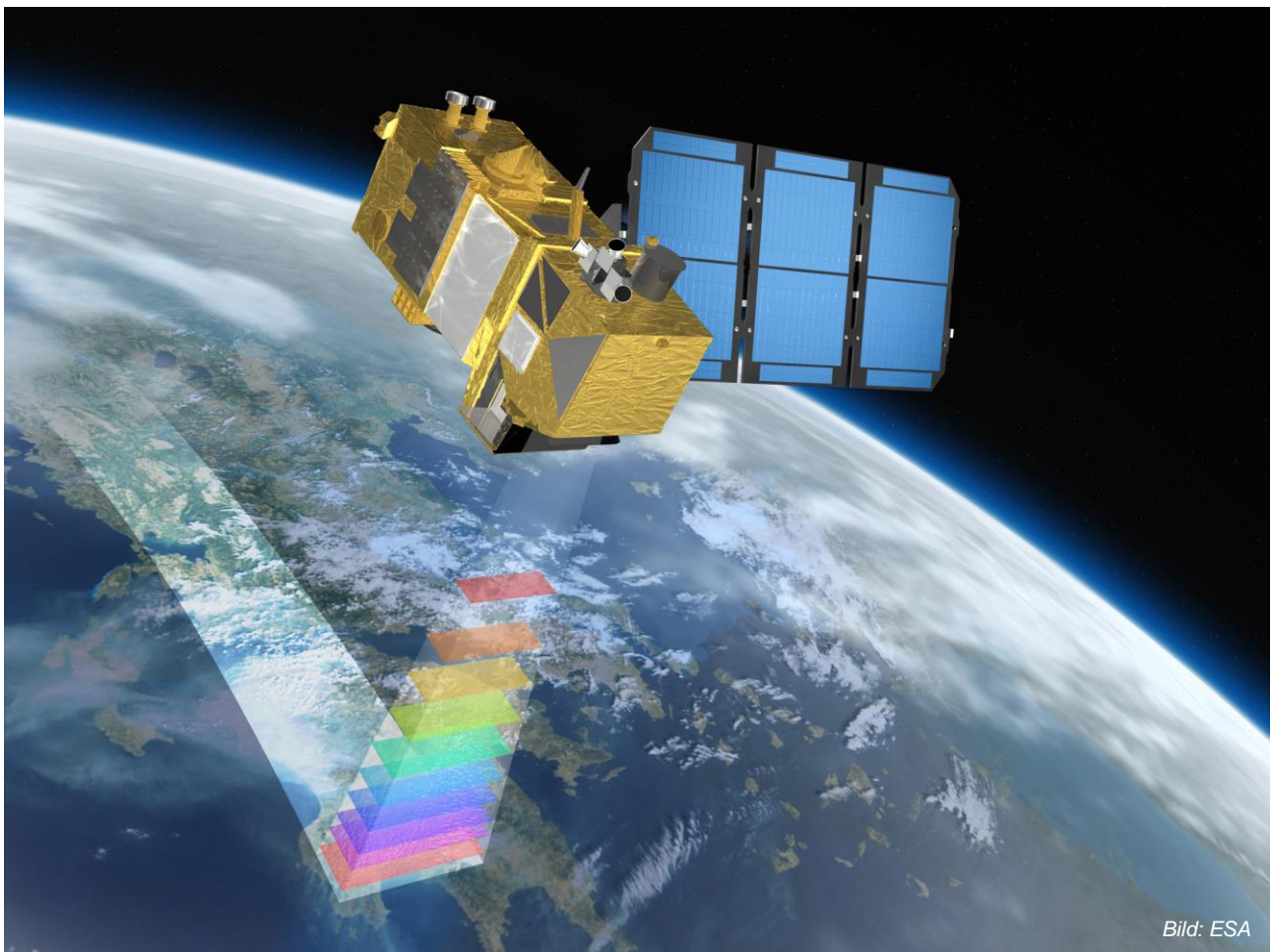


Fjärranalysens potential för kustzonsförvaltning



Uppdrag: Fjärranalysens potential för kustzonsförvaltning
Uppdragsnummer: 30031970
Kund: Statens geotekniska institut
Ver: 3
Datum: 2022-03-09
Upprättad av: Viktor Kalén, Johanna Schmidt, Emanuel Schmidt, Martin Sjöström
Dokumentreferens: \\semmafs001\projekt\21215\30031970\000\18 granskning\ver3\fjärranalysens potential för kustzonsförvaltning.docx

Innehållsförteckning

0.	Ordlista	7
1.	INLEDNING	8
1.1	Den dynamiska kusten	8
1.2	Syfte	9
2.	BAKGRUND	10
2.1	Sentinel 2.....	10
2.1.1	Nedladdning av data från Sentinel 2 via Scihub	10
2.1.2	Produktivnivåer	10
2.2	Vegetationsindex	10
2.3	Stormfrekvens åren 2007–2021	11
3.	METOD.....	13
3.1	Datainsamling.....	13
3.1.1	Urval studieområde	13
3.1.2	Analyserad kustzon	14
3.1.3	Insamling och bearbetning av Sentinel 2-data	15
3.1.4	Ortofoton.....	17
3.1.5	SGU:s dynfotsanalys.....	17
3.2	Vegetationens täckningsgrad	17
3.2.2	Beräkning av vegetationens täckningsgrad	19
3.2.3	Beräkning av förändring i vegetationens täckningsgrad	19
3.2.4	Urval och aggregering	20
3.2.5	Utvärdering.....	21
3.3	Sandutbredning	21
3.3.1	Hög reflektans i Band 2	22
3.3.2	Definition av nedre gräns för sand - NDWI	22
3.3.3	Definition av övre gräns för sand - SAVI	22
3.3.4	Klassning sand och aggregering	22
3.3.5	Beräkning av förändring i sandutbredning	22
3.3.6	Utvärdering.....	23
3.4	Invasiva arter	23
3.4.1	Urval områden och tidsperiod	23
3.4.2	Beräkning av variation vegetationstäckning och utvärdering	23
4.	RESULTAT	25
4.1	Vegetationens täckningsgrad och sandutbredning	25
4.1.1	Ängelholm.....	25
4.1.2	Gislövs läge	30

4.1.3	Sandhammaren	33
4.1.4	Örnahusen.....	36
4.2	Invasiva arter	39
5.	DISKUSSION	42
5.1	Datainsamling och bearbetning.....	42
5.2	Vegetationens täckningsgrad	43
5.2.1	Allmän diskussion.....	43
5.2.2	Svårigheter med data	44
5.2.3	Potential vegetationens täckningsgrad	45
5.3	Sandutbredning	46
5.3.1	Allmän diskussion.....	46
5.3.2	Svårigheter med data	46
5.3.3	Potential sandanalys	46
5.4	Invasiva arter	47
5.4.1	Allmän diskussion.....	47
5.4.2	Svårigheter med data	47
5.4.3	Potential för övervakning av invasiva arter	48
5.4.4	Koppling vegetationsanalys och invasiva arter	49
6.	SLUTSATSER	50
7.	REFERENSER	52
8.	BILAGOR – RESULTATKARTOR I STORFORMAT	54

Sammanfattning

Sweco har fått i uppdrag av SGI att utreda fjärranalysens potential för svensk kustzonsförvaltning.

Kusten är ett dynamiskt system där erosion och ackumulation medför en kontinuerlig omformning av landskapet. Detta kan skapa problem för bebyggelse och infrastruktur belagd i kustzonen, och av denna anledning är det viktigt att följa och övervaka kustens utveckling. I dagsläget är det vanligt att förändringar i kustzonen utreds genom manuell kartläggning av strand- och vegetationslinjer baserat på ortofoton. Föreliggande utredning har studerat potentialen hos en automatiserad metodik som baseras på öppna satellitdata från Sentinel 2.

Syftet med föreliggande utredning har varit att undersöka om analyser av satellitdata har potential att ersätta och/eller komplettera dagens studier med ortofoton, om satellitdata från Sentinel 2 har en tillräcklig hög spatial upplösning samt att klarlägga vilka utmaningar som finns kopplat till denna typ av analys.

Utredningen består av tre delstudier som avser att inom kustzonen kartlägga förändringar i vegetationens täckningsgrad, förändringar i sandutbredning samt variation av vegetationsgrad i områden som rensats på invasiva arter. Delstudierna har resulterat i ett GIS-material som för analyserna av vegetationens täckningsgrad och sandutbredning omfattar kuststräckan mellan Ugglarp och Åhus, samt två mindre områden i närheten av Helsingborg för analysen av invasiva arter. Resultaten har utvärderats genom jämförelser med ortofoton samt med en tidigare utförd dynfotsanalys av SGU.

Den främsta slutsats som kan dras från utredningen är att analys av satellitdata har potential att i vissa fall ersätta, men främst komplettera de studier som idag görs utifrån ortofoton. En fördel med satellitdata jämfört med ortofoton är att de har en högre temporal upplösning. En annan fördel är att den beskrivna metodiken är maskinell, vilket innebär att analysen är objektiv och även enkelt går att upprepa med ny data eller för nya områden. En ytterligare fördel är att satellitdata täcker stora geografiska områden, vilket möjliggör en heltäckande, likvärdig, kartering av hela Sveriges kust. Kombinerat ger dessa tre nämnda fördelar en stor potential för svensk kustzonsförvaltning

En utmaning med den beskrivna metodiken är att data från Sentinel 2 är relativt komplicerad att använda och kräver ingående kunskap om hur data är lagrad och strukturerad. En mer generell utmaning är brus i data, vilket kan påverka resultaten från analysen. Den främsta källan till brus bedöms vara moln, men även säsongsvariationer och variationer i väder kan ha en viss inverkan.

Analysen av vegetationens täckningsgrad visar att förändringar i vegetationslinjens läge i storleksordningen 5–10 m och uppåt kan detekteras. Den beskrivna analysen är mer nyanserad än manuell tolkning av ortofoton då den inte bara kan beskriva förekomst av vegetation utan även kan ge en uppfattning om mängden vegetation. Dessutom kan analysen göras för hela dynsystemet och inte bara för vegetationslinjen.

Analysen av sandutbredning visar att det finns möjlighet att detektera områden där det skett en förändring. Dock är resultaten ibland svårtolkade, och metodiken kräver eventuellt en viss vidareutveckling.

Analysen för bevakning av invasiva arter visar att det går att urskilja effekten av rensning som en minskning i vegetationens täckningsgrad. Upplösningen på data från Sentinel 2 gör att utvecklingen i små områden är svårare att se, och potentialen bedöms därmed som högre för bevakning av invasiva arter i större skala.

0. Ordlista

Band: Refererar till olika våglängdsband i en satellitbild. Olika band är känsliga för olika vågländstyper.

Processering: I rapporten används ordet processering (eng. processing) för att beskriva en del av databearbetningen som rör förädling av satellitbilder. Ett svenskt alternativ skulle vara bearbetning, men ordet processering bedömdes bättre beskriva just denna del av datahanteringen. Bearbetning används mer som ett begrepp när det kommer till analys och hantering av själva datamängden.

Satellitbild: En bild tagen av en satellit vid ett specifikt tillfälle och plats. Bilden består av ett antal band.

Tile: En ruta i ett rutnät som definierar var på jordytan en satellitbild är tagen. En svensk översättning skulle vara "rutnätsindex".

Vegetationsindex: Genom att kombinera olika band kan index beräknas för att uppskatta exempelvis täckningsgrad. Exempel på två vanligt förekommande vegetationsindex är NDVI och SAVI.

1. INLEDNING

1.1 Den dynamiska kusten

Stranderosion är en naturlig process som sker längs våra kuster. När mer sediment transporteras bort från ett kustavsnitt än vad som tillkommer, eroderar kusten. Konsekvenserna av erosion är att strandplan, dynsystem och klintar minskar och att havet på sikt flyttar kustlinjen inåt land. Motsatsen till erosion är ackumulation, vilket innebär en ansamling av sediment och tillika en tillväxt av kusten utåt havet.

Hur materialtransporten ser ut längs med kusten beror på ett flertal faktorer, däribland den lokala geologin, geografin och meteorologiska mönster. Vår kust är till stor del dynamisk och omformas över tid, vilket kan skapa problem när bebyggelse och infrastruktur är belagd i denna dynamiska kustzon. Sanddyner och stränder tillhandahåller ekosystemtjänster som förutom att hålla en hög biologisk mångfald även utgör skyddsbarriärer mellan bebyggelse och havet.

En stor del av vår befolkning bor längs kusten, i områden som idag eller i framtiden kan utgöra riskområden för översvämning och erosion. I anslutning till dessa områden är det viktigt att följa kustens utveckling, och en övervakning av våra stränder kan bland annat:

- Utgöra ett viktigt underlag för beslutsfattande i samhällsplanering. Underlaget kan användas för att undvika att ny bebyggelse eller viktig infrastruktur uppförs i områden som på sikt kan riskera att skadas till följd av erosion eller översvämning.
- Utgöra ett viktigt underlag vid design av åtgärder mot erosion, i områden med befintlig bebyggelse eller infrastruktur som hotas av erosion eller översvämning.
- Bidra till en ökad förståelse för de fysikaliska processer som styr kustens dynamik.

En vanligt förekommande skrivbordsstudie är att utifrån ortofoton manuellt kartlägga strandlinjens eller vegetationslinjens (övergången mellan hav/strand och vegetation) läge över tid. Baserat på dessa kan en uppskattning av kustens förändringstakt beräknas. Dessa analyser är kostsamma och i viss mån subjektiva samt huvudsakligen lokaliserade till kända problemområden. Vidare är kvaliteten av analysen beroende av tillgängligheten på flygfotografier.

Med en systematisk övervakning genom satellitdata, baserad på en automatiserad och objektiv metod, finns det potential för att både kvaliteten i analysen förbättras och kostnaden sänkas.

Jämfört med ortofoton erbjuder satellitdata harmoniserade bilder över stora områden, med en hög temporal upplösning, men med en lägre spatial upplösning. Det finns idag många källor för satellitdata, både kommersiella och öppna data. Den satellit som idag har högst spatial upplösning och samtidigt är gratis att använda heter Sentinel 2.

1.2 Syfte

Syftet med studien är att undersöka fjärranalysens potential för kustzonsförvaltning. Eftersom Sentinel 2 erbjuder högst spatial upplösning av alla öppna satellitdata är detta en bra utgångspunkt för att undersöka potentialen. De viktigaste frågorna är:

- Kan satellitdata ersätta och/eller komplettera de studier som idag görs via ortofoton?
- Är den spatiala upplösning som Sentinel 2 erbjuder (10 m) tillräcklig?
- Vad finns det för utmaningar med att använda data från Sentinel 2? Både rent tekniska utmaningar, men även andra aspekter så som datakvalitet och tillgång på data kommer beaktas.

Rent konkret kommer detta undersökas genom tre olika studier:

- 1) Kartering av kustzonen med Sentinel 2-data för sträckan Ugglarp - Åhus med syfte att identifiera områden som uppvisar en stor förändring i vegetationens täckningsgrad.
- 2) Kartering med Sentinel 2-data av kustzonen för sträckan Ugglarp - Åhus med syfte att identifiera områden som uppvisar en stor förändring i sandutbredning.
- 3) Kartering med Sentinel 2-data av hur vegetationsgraden varierar över tid i områden där invasiva arter har rensats. Karteringen syftar dels till att utreda om det i ett tidigt stadium går att se när invasiva arter börjar etablera sig, dels hur ett område som rensats återhämtar sig.

Metodik och resultat kommer utvärderas dels mot en befintlig dynfotsanalys genomförd av SGU, dels mot ortofoton.

Resultatet kommer presenteras främst som ett GIS-underlag. I denna rapport görs nedslag på fyra utvalda platser för att visa på resultat från punkt 1 och 2 ovan. För främmande arter (punkt 3) analyseras två utvalda områden i Helsingborgs kommun.

2. BAKGRUND

2.1 Sentinel 2

Sentinel 2 är en del av det EU-finansierade Copernicus-programmet och syftar till att övervaka förändringar av jordytans tillstånd (European Space Agency, u.å. d). Programmet består av två satelliter, Sentinel-2A och Sentinel-2B. Satelliterna har en bana som passerar över polerna och de är färförskjutna med 180°, vilket betyder att när den ena satelliten passerar nordpolen passerar den andra sydpolen. Återkomsttiden är 10 dagar för varje satellit. Med två satelliter betyder detta att en ny bild tas vart 5 dygn för samma plats på jordklotet.

Sentinel-2A sköts upp den 23 juni 2015 och Sentinel-2B den 7 mars 2017 (European Space Agency, u.å. d). Tillgången på bilder är alltså bättre efter mars 2017. Båda satelliterna är likvärdiga och bär en kamera som tar högupplösta multispektrala bilder i 13 olika våglängdsband. Den spatiala upplösningen är 10–60 m. Satellitbilderna är indelade i s.k. "tiles". En tile är att likna vid ett rutnät som definierar var på jordytan som bilden är tagen.

2.1.1 Nedladdning av data från Sentinel 2 via Scihub

All data inom Copernicusprogrammet är öppen och fri att använda. Inom detta projekt användes Copernicus Open Access Hub (Copernicus, u.å.) för att söka ut och ladda ner data.

Data är gratis men det krävs en användare för att ladda ner data, och första gången krävs därför en registrering. Data laddas enkelt ner genom att i en karttjänst välja vilket område på jordytan som är av intresse, samt genom att ange inom vilken tidsperiod som data önskas. Det är också möjligt att filtrera sökresultat beroende på hur mycket moln som finns i bilden.

Värt att notera är att många äldre bilder ligger i ett s.k. "Deep Archive" och finns inte direkt tillgängliga för nedladdning. Istället görs en beställning och bilden laddas upp och läggs i användarens varukorg. När detta är klart kan bilden laddas ner på samma sätt som övriga bilder.

De olika banden i en Sentinel 2-bild lagras som JP2-filer. Det finns också så kallade masker som exempelvis visar var det finns moln i bilderna, eller var data saknas. Dessa masker är sparade som vektordata i GML-format.

2.1.2 Produktnivåer

Sentinel 2-data finns tillgängligt i två olika produktnivåer, L1C och L2A (European Space Agency, u.å. b). L1C-produkterna består av 100*100 km² stora tiles där ett värde i varje pixel representerar den reflektans som satelliten registrerar vid toppen av atmosfären. Genom korrigeringar av atmosfärförhållanden (exempelvis vattenånga och moln) kan L1C-produkter räknas om för att motsvara reflektansvärden vid botten av atmosfären. Detta kallas då L2A-produkt.

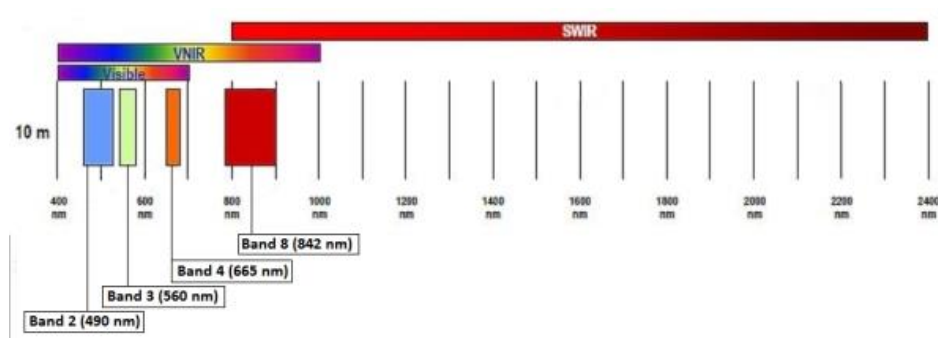
2.2 Vegetationsindex

Gröna växter som innehåller klorofyll använder inkommande strålning (solljus) för sin fotosyntes. Solljus innehåller ljus i hela våglängdsspektrumet. De

våglängder som en växt använder för sin fotosyntes kommer absorberas av bladen, och det ljus som växten inte använder kommer reflekteras. Anledningen till att en växt är grön är alltså för att den inte använder det gröna ljuset i fotosyntesen i samma utsträckning som övriga våglängder i den synliga delen av spektrumet.

På samma sätt som för grönt ljus så reflekterar fotosyntetiskt aktiva växter en stor del av den inkommande nära infraröda strålningen, och absorberar en stor del av den inkommande röda strålningen. Genom att beräkna differensen mellan dessa två våglängdsband kan ett index beräknas som anger ett mått på hur mycket vegetation som finns.

Skillnaden mellan en multispektral satellitbild och en flygbild är att satellitbilden mäter reflektansen i fler våglängdsband. I Figur 2-1 visas ett de spektrala band som finns tillgängliga för Sentinel 2 i 10 m upplösning. Det finns fler band men dessa har lägre upplösning och har inte använts i denna studie (European Space Agency, u.ä. d).



Figur 2-1 Översikt över de band i Sentinel 2 som har 10 m upplösning. Bild från: European Space Agency (u.ä. e).

2.3 Stormfrekvens åren 2007–2021

Erosion och omformning av kustzonen är en ständigt pågående process. Erosionspåverkan är som störst vid högvatten i kombination med vågeffekter. Detta uppstår i samband med stormar. För att göra det möjligt att förklara och förstå resultaten från studien användes en sammanställning av SMHI (2021) som visar vilka stormar som förekommit i Sverige under åren 2007–2021. Under denna tidsperiod är totalt 19 stormar registrerade, vilka presenteras i Tabell 2-1.

Tabell 2-1 Urval av stormar i Sverige sammanställda av SMHI. Källa: SMHI (2021)

Stormar i Sverige

Storm	Datum	By- vind (m/s)	Medel- vind (m/s)	Åter- komst- tid (år)
Laura	2020-03-12	37,8	29,1	5-10
Alfrida	2019-01-01	38,5	29,4	10-20
Jan	2019-01-10	49,7	42,0	5-10
Julia	2019-02-16	43,5	37,0	drygt 20
Mats	2019-02-24	39,0	32,5	10-20
Urd	2016-12-26	36,3	27,2	-
Freja	2015-11-08	38,0	27,7	över 5
Gorm	2015-11-29	39,8	29,6	över 50
Helga	2015-12-04	37,9	29,3	10-20
Egon	2015-01-10	40,0	30,0	över 20
Ole	2015-02-06	43,0	39,0	över 100
Simone	2013-10-28	42,0	31,0	över 20
Hilde	2013-11-16	56,0	47,0	20-50
Sven	2013-12-05	40,0	30,0	10-20
Ivar	2013-12-12	46,0	24,0	över 50
Dagmar	2011-12-26	37,0	27,0	20-50
Första Advent- stormen	2011-11-27	41,0	30,0	5-10
Sommar- ovädret	2008-08-04	33,0	26,0	-
Per	2007-01-14	40,0	30,0	över 50

3. METOD

Metoden för studien består av ett antal delmoment. Först beskrivs vilket studieområde som valts och hur strandlinjen definierats. Vidare beskrivs hur Sentinel 2-data samlats in bearbetats och analyserats för förändrad vegetationstäckning, sandanalys och invasiva arter.

3.1 Datainsamling

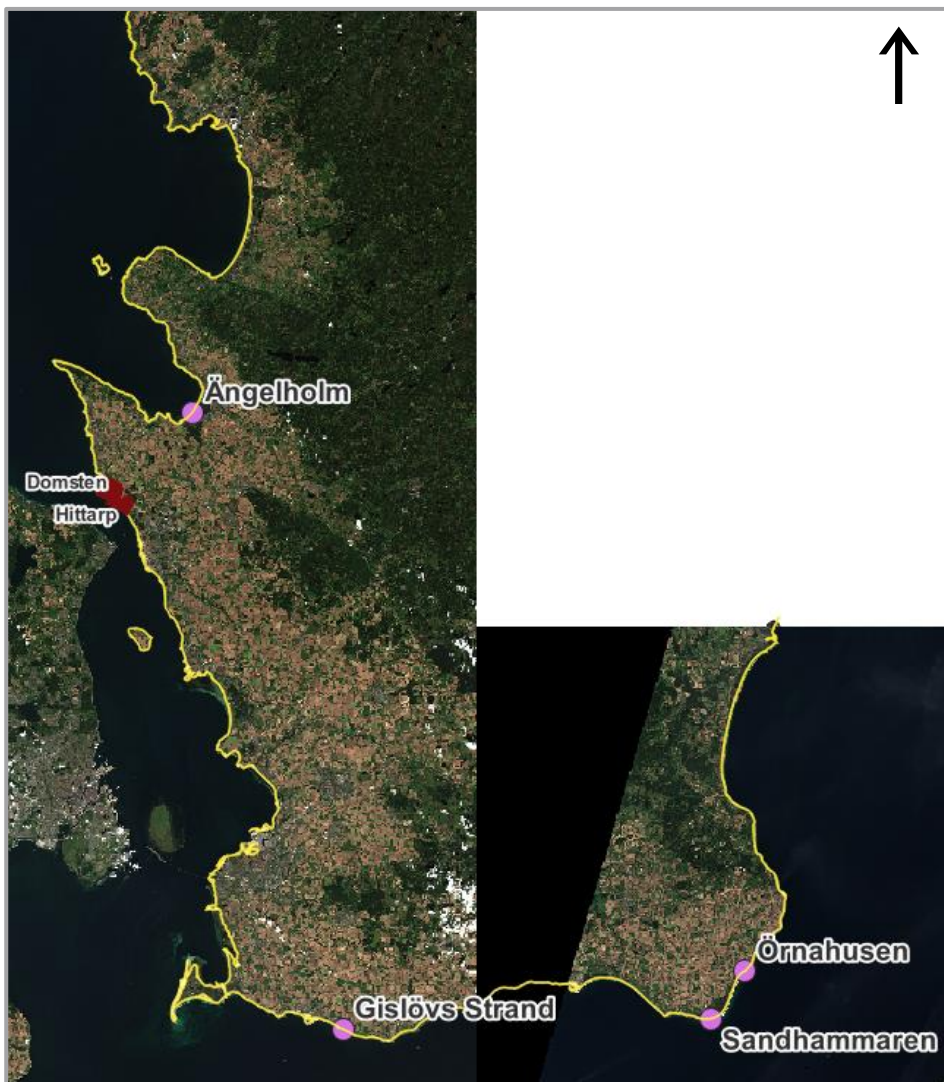
I huvudsak har fyra olika typer av datakällor använts i studien:

1. Strandlinje och marktäckedata för att definiera var i kustbandet analysen ska genomföras.
2. Satellitbilder från Sentinel 2.
3. Flygfoton från Lantmäteriet för att utvärdera resultat.
4. För utvärdering av resultat har även en studie av kusterosion från SGU använts (SGU, 2021).

Sentinel 2 och marktäckedata är öppen data. Resterande data har använts inom Geodatasamverkan.

3.1.1 Urval studieområde

Studieområdet sträcker sig från Ugglarp i Halland till Åhus i Skåne (se Figur 3-1). Notera att det för sträckan Abbekås – Ystad inte finns tillgänglig Sentinel 2-data under åren 2015/2016 vilket framgår av de svarta områdena i figuren.



Figur 3-1 Studieområdet visas i gult. Röda markeringar visar studieområde för invasiva arter. Rosa prickar visar områden som valts ut för detaljstudier av resultat. Bakgrundskartan är Sentinel 2. Notera avsaknaden av satellitdata (svart) i mellersta Skåne.

3.1.2 Analyserad kustzon

Analysen utfördes på en yta med en utbredning om 100 m på var sida om strandlinjen. För att skapa denna yta användes två olika datakällor; strandlinje från fastighetskartan och nationella marktäckedata (NMD).

3.1.2.1 Strandlinje från fastighetskartan

Fastighetskartans strandlinje bearbetades genom filtrering där alla linjer definierade som sjöar och vattendrag togs bort. På vissa ställen var dock denna information ofullständig och viss manuell digitalisering var nödvändig för att erhålla en enhetlig strandlinje.

Den sammanhängande strandlinjen buffrades med 100 m på var sida, och den resulterande ytan kallas vidare buffrad strandlinje.

3.1.2.2 Nationella marktäckedata (NMD)

Nationella marktäckedata (NMD) är en rikstäckande marktäckekartering som tagits fram huvudsakligen av Naturvårdsverket. NMD är öppen data som kan laddas ner i rasterformat med en spatial upplösning på 10 m (Metria, u.å.).

En av kategorierna i NMD är åkermark. Beroende på när åkermark sås och skördas kommer vegetationens täckningsgrad variera över året. Eftersom syftet var att fånga förändringar i vegetations täckningsgrad på grund av kustprocesser bedömdes detta kunna påverka analysen i allt för stor uträkning på de platser där det finns åkermark inom den buffrade strandlinjen.

Alla ytor som i NMD var klassade som åkermark användes för att klippa den buffrade strandlinjen, på detta sätt exkluderades åkermark från den buffrade strandlinjen.

3.1.3 Insamling och bearbetning av Sentinel 2-data

Den tillgängliga datamängden av Sentinel 2-data är stor. Nedan beskrivs hur data laddades ner, processerades för att vara jämförbar och slutligen vilken teknologi som användes för databearbetning och analys.

3.1.3.1 Nedladdning och urval av Sentinel 2-bilder

Förändringsanalysen för vegetationstäckning genomfördes mellan två olika tidpunkter. För att få så lång tidsperiod mellan de två tillfällena som möjligt valdes tidigaste respektive senast tillgängliga satellitbild ut inom respektive *Tile*.

Studieområdet täcks in av tre *Tiles*. För två av dessa fanns det bilder att tillgå från 2015, och för den tredje var den tidigaste bilden från 2016. För 2021 fanns det tillgängliga bilder för alla tre *Tiles*. Satellitbilder från åren 2015/2016 benämns fortsättningsvis som "tidig bild" och jämförs med 2021 som benämns som "sen bild".

Vid förändringstudier så är det av stor vikt att förhållandena är så lika som möjligt vid de två tillfällena som ska jämföras. Det finns annars en risk i att det inte är en förändring av jordytans beskaffenhet som registreras, utan något annat. Om exempelvis förändringar i vegetationens täckningsgrad mellan två år ska studeras så är det viktigt att vegetationen är fullt utvecklad. Att exempelvis jämföra en tidig vårbild med en sen sommarbild riskerar att ge ett felaktigt resultat.

En begränsande faktor är urvalet av bilder. Även om det finns en bild ca var 5e dag så är det ofta mycket moln viket gör att datafångsten försvåras. I början av projektet ställdes följande krav:

- Bilderna måste vara tagna efter lövsprickning
- Bilderna ska vara molnfria i kustbandet

Initiala tester gjordes för både vår och sommarbilder. Resultatet av dessa visade att tillgången på molnfria bilder under våren var bristfällig. Mycket på grund av det korta tidsfönster som finns mellan lövsprickning och risk för torka. Just risk för torka gjorde att högsommarbilder valdes bort. Valet föll istället på sensommarbilder runt början på september. Här fanns relativt molnfria serier i södra Sverige för åren 2015/2016 och 2021.

För utveckling och utvärdering av metodik för detektering av sand användes en Sentinel 2-bild som låg så nära i tid som möjligt (2020-05-28) som fototidpunkt

för ortofotot (2020-06-04). Den utvecklade metodiken implementerades sedan på analysen för förändringsstudier.

De satellitbilder som använts i förändringsstudierna presenteras i Tabell 3-1.

Tabell 3-1 Lista över använda satellitbilder för förändringsanalys.

TILE	Datum tidig bild	Datum sen bild	Sträcka
33VUC	2015-09-08	2021-09-03	Ugglarp -Saxtorp
33UUB	2015-09-08	2021-09-03	Glumslöv - Abbekås
33UVB	2016-08-27	2021-09-05	Ystad - Åhus
33UVB*	-	2020-05-28	Ystad - Åhus

* Denna bild användes endast för att utvärdera metodiken för att detektera sand, varför tidig bild saknas.

För analysen av invasiva arter behövdes en bild för varje år mellan åren 2015–2021. Observera att alla bilder ligger inom samma *Tile*, se Tabell 3-2.

Tabell 3-2 Lista över bilder från Sentinel 2 som använts för analys av invasiva arter.

TILE	Datum	Område
33VUC	2015-09-08	Domsten/Hittarp
33VUC	2016-09-12	Domsten/Hittarp
33VUC	2017-08-23	Domsten/Hittarp
33VUC	2018-07-31	Domsten/Hittarp
33VUC	2019-08-25	Domsten/Hittarp
33VUC	2020-08-07	Domsten/Hittarp
33VUC	2021-09-03	Domsten/Hittarp

3.1.3.2 Processering av satellitbilder

Vid en förändringsstudie är det av stor vikt att jämföra så likvärdiga bilder som möjligt. Därför var det nödvändigt att processera om L1C-bilderna till L2A-produkter.

L2A-produkter finns tillgängliga på global nivå från december 2018 och framåt. Före detta datum finns endast L1C-bilder. För att erhålla L2A-produkter för de tidiga åren 2015 och 2016 gjordes en processering av L1C-bilderna med en processor kallad Sen2Cor (Version 2.9) (European Space Agency, u.å. c).

3.1.3.3 Programvara för analys och visualiseringar

I denna studie användes uteslutande programmet FME för datahantering och analys. Med FME är det möjligt skapa automatiserade arbetsflöden vilket kraftigt förenklar databearbetningen. När väl arbetsflödet är etablerat är det enkelt att bygga ut för att exempelvis inkludera nya studieområden och eller tidsperioder. För datalagring användes PostgreSQL/PostGIS och för visualiseringar QGIS och ArcMap

3.1.4 Ortofoton

För utvärdering av analyser och resultat användes ortofoton från ©Lantmäteriet. De år som bäst stämde överens med de år som satellitbilderna var tagna var år 2016 för de tidiga bilderna, och år 2020 för de sena bilderna. Detta innebär att satellitbilder från år 2015 i vissa fall jämfördes med ortofoto från år 2016. För samtliga fall jämfördes satellitbilderna från år 2021 med ortofoto från 2020. Undantaget är utvärderingen av sandanalysen där en satellitbild från 2020 jämfördes med ortofoto från 2020.

3.1.5 SGU:s dynfotsanalys

För utvärdering av resultaten för vegetationens täckningsgrad användes en analys gjord av SGU för åren 2007–2018 (SGU, 2021). Analysen visar dynfotens förändring mellan de angivna årtalen och är gjord genom manuell bedömning och digitalisering utifrån ortofoto.

Underlaget visar strandlinjen indelad i sträckor, där varje sträcka har ett värde som visar hur stor förändringen (antingen positiv eller negativ) för dynfotens placering är i meter mellan åren 2007–2018.

3.2 Vegetationens täckningsgrad

I en Sentinel 2-bild återges det nära infraröda spektrumet i Band 8 och det röda i Band 4. Dessa båda band har en spatial upplösning på 10 m och kan användas för att, för varje pixel i bilden, uppskatta mängden vegetation. Det finns ett flertal vegetationsindex varav NDVI och SAVI är två vanligt förekommande.

3.2.1.1 NDVI

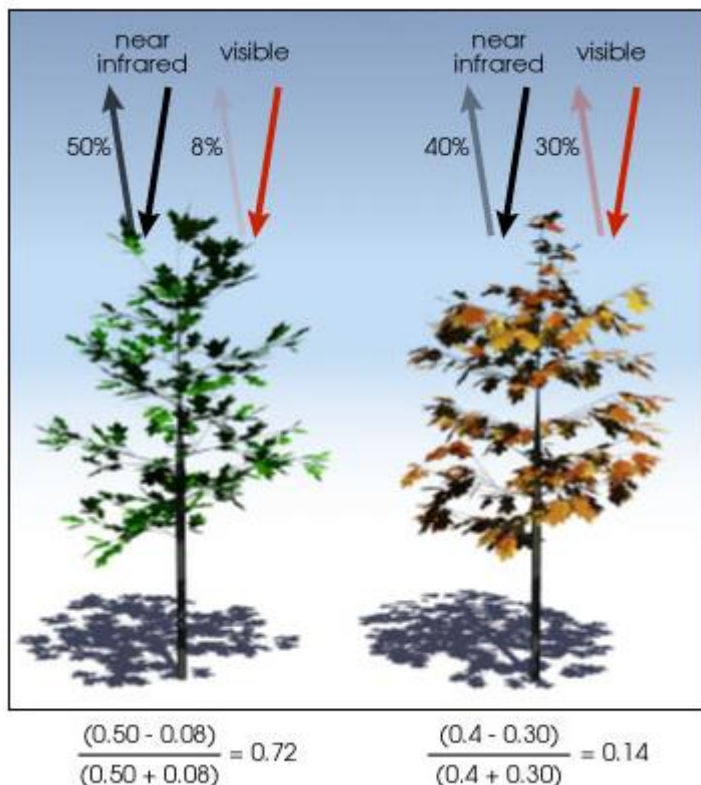
Ett mycket använt vegetationsindex är *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) som beräknas enligt:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

NIR: Nära Infrarött våglängdsband, representeras av Band 8 i Sentinel 2.

Red: Rött våglängdsband, representeras av Band 4 i Sentinel 2.

För varje cell i satellitbilden ger NDVI ett värde mellan -1 och +1 (NASA, 2000). En pixel som helt saknar vegetation (exempelvis sand, vatten eller asfalt) får ett värde nära eller under 0. En pixel med tät frodig vegetation (exempelvis lövskog, ängsmark) får värden nära +1. I Figur 3-2 visas ett exempel på hur NDVI beräknas för en grön fotosyntetiserande växt (t.v.) kontra en växt som har blad men inte bedriver en aktiv fotosyntes (t.h.). Den gröna växten har ett NDVI på 0,72 och växten som skiftat till höstfärger ett NDVI på 0,14.



Figur 3-2 Exempel på hur NDVI beräknas. Siffrorna anger pixelvärde för de olika våglängdsbanden som används i NDVI-indexet. Notera att fröna löv ger ett mycket högre NDVI-index än löv som inte innehåller klorofyll. Källa: NASA (2000).

3.2.1.2 SAVI

Om vegetationstäckningen är låg finns det risk att den underliggande markens beskaffenhet (exempelvis färg och fuktighet) påverkar NDVI-värdena. Om exempelvis två pixlar jämförs som har liknande vegetationstäckning men där markytan i den ena pixeln utgörs av ljus sand och i den andra av mörk jord, så kan NDVI skilja sig markant mellan de två pixlarna. Detta kan ge instabila och svårtolkade värden på NDVI.

I denna studie är detta av stor vikt då strandvegetation ofta har en ganska låg täckningsgrad och markytans beskaffenhet ofta varierar. För att komma runt detta användes istället ett vegetationsindex kallat *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI). Detta index har utvecklats för att minimera de störande effekterna av underliggande mark (ESRI, u.å.). SAVI beräknas enligt:

$$SAVI = \frac{(1 + L) * (NIR - Red)}{NIR + Red + L}$$

NIR: Nära Infrarött våglängdsband, representeras av Band 8 i Sentinel 2.

Red: Rött våglängdsband, representeras av Band 4 i Sentinel 2.

L: Justeringsfaktor för trädkronor. Ansattes till 0.5

Resultatet för SAVI ska tolkas på samma sätt som NDVI. Värdena varierar mellan -1 och +1, och värden nära 0 indikerar ingen vegetation, medan värden nära +1 indikerar tät vegetation.

3.2.2 Beräkning av vegetationens täckningsgrad

SAVI-värden beräknades för alla celler längs med hela studieområdet. Både för de sena bilderna (2021), och de tidiga bilderna (2015/2016).

Upplösningen på banden som används för beräkning av SAVI-värdena är 10 m och data är representerad i rasterformat. För att underlätta visualisering och jämförelse mot underliggande ortofoto så representeras varje rastercell av sin centerpunkt. Rent GIS-tekniskt innebär detta att data lagras och presenteras i vektorformat istället för rasterformat. I Figur 3-3 visas ett exempel på detta för 2021.



Figur 3-3 Illustration av vegetationens täckningsgrad (SAVI-värde) vid Sandhammaren 2021-09-05.

3.2.3 Beräkning av förändring i vegetationens täckningsgrad

SAVI-värde för den tidiga bilden jämfördes med SAVI-värden för den tidiga bilden. Följande formel användes:

$$SAVI_{diff} = SAVI_{sen} - SAVI_{tidig}$$

$SAVI_{sen}$ SAVI-värde för den sena bilden

$SAVI_{tidig}$ SAVI-värde för den tidiga bilden

$SAVI_{diff}$ Skillnaden i SAVI-värde mellan två bilder.

Beräkningen medför att en cell som inte uppvisade någon förändring i vegetationstäckning fick ett värde nära 0. En cell som uppvisade en ökad

vegetationstäckning fick ett positivt värde, och en cell som uppvisade en minskad vegetationstäckning fick ett negativt värde. Ju större absolutvärde en cell har, desto större förändring har skett.

3.2.4 Urval och aggregering

Utifrån värdena för förändrat SAVI-värde ($SAVI_{diff}$) ansattes ett gränsvärde på 0,08. Detta värde valdes genom visuell jämförelse och utvärdering mellan $SAVI_{diff}$ och ortofoton från åren 2020 och 2016.

Celler som uppvisade en förändring större eller lika med 0,08 definierades som ökad vegetationstäckning. Celler som uppvisade en förändring mindre eller lika med -0,08 definierades som minskad vegetationstäckning. Resterande celler definierades som oförändrade.

De celler som definierats som en förändring buffrades 6 m för att undvika glapp. Om det fanns sammanhängande celler som definierats som ökad vegetationstäckning så aggregerades dessa ihop för att skapa en yta, motsvarande gjordes för celler med minskad vegetationstäckning. På detta sätt erhöles sammanhängande ytor som indikerar förändring i täckningsgrad. Endast ytor större än 500 m² behölls. Ett exempel på hur aggregeringen fungerar visas i Figur 3-4.



Figur 3-4 Illustration med exempel på aggregering längs Sandhammaren. Röda punkter uppvisar en negativ förändring i SAVI, gröna punkter en positiv. Notera de röda punkterna i mitten. Några av dessa har ett förändrat SAVI-värde som är mindre än -0,08, men eftersom dessa är isolerade från övriga punkter så uppfylls inte storlekskravet på 500 m², vilket leder till att dessa punkter förkastas vid aggregering.

För att få ett mått på förändringstakten och göra det möjligt att skilja på de ytor som uppvisar olika grad av förändring så gjordes följande för varje yta: alla cellers ingående förändringsvärden ($SAVI$) summerades och dividerades med ytans area. För att undvika decimaler multiplicerades slutresultatet med 1000.

För att exemplifiera så får en yta som innehåller fem celler som alla uppvisar ett förändrat SAVI-värde på 0,1 ett förändringsvärde på 1,0. En likadan yta där alla celler uppvisar ett förändrat SAVI-värde på 0,3 får ett förändringsvärde på 3,0. Förändringsvärdet beräknades som absolutbelopp så att ökning och minskning uttrycktes på samma sätt.

De erhållna värdena klassades enligt följande skala:

0,5 - 1,0	Svag ökning/minskning
1,0 - 1,5	Ökning/minskning
1,5 - 2,0	Stark ökning/minskning
2,0 och uppåt	Mycket stark ökning/minskning

Notera att ovanstående är en generalisering och är baserad på tolkningar av resultatet. Syftet är att förenkla tolkning av resultaten och är ett förslag till metodik för att öka användbarheten.

3.2.5 Utvärdering

För utveckling av metod och för utvärdering av resultat av analysen för förändringar i vegetationens täckningsgrad användes ortofoton från olika år, SGU:s dynfotsanalys.

Ortofoton användes för åren 2016 för referens till de tidiga satellitbilderna och 2020 för de sena. Utvärderingen gjordes manuellt genom visuell jämförelse.

Även utvärderingen mot SGU:s dynfotsanalys gjordes manuellt. Utvärderingen gjordes genom jämförelse med syftet att svara på följande frågor:

- Visar SGU:s dynfotsanalys samma övergripande mönster längs hela den studerade sträckan som analysen för förändrad vegetationstäckning?
- Hur stora förändringar, i meter, kan analysen med förändrad täckningsgrad fånga?

Fråga a) utvärderas genom att visuellt jämföra de resultaten från de båda analyserna på en övergripande skala, och b) genom att välja ut fyra mindre studieområden för detaljstudier. De områden som valdes var (se Figur 3-1):

1. Ängelholm
2. Gislövs-Läge
3. Sandhammaren
4. Örnahusen

3.3 Sandutbredning

För att detektera sand finns det inte lika många beprövade index som för vegetation. Ett index som kan användas för detta är Crust Index (Aydda, Althuwaynee, & Pokharel, 2020). Detta index testades i en utvärderingsfas där Crust Index beräknades för en utvald sträcka med sand längs Sandhammaren. Träffsäkerheten för dynsystem och sand med vegetation bedömdes som lovande, men träffsäkerheten för ren sand bedömdes som mindre lovande.

Istället utvecklades en egen metodik för detektering av sand. Metodiken utgår kortfattat från antagandet att sand generellt har högre reflektans jämfört med andra förväntade marktyper i strandområdet, exempelvis vatten eller vegetation. Även här används bara band med 10 m upplösning. De olika delmomenten beskrivs i detalj nedan.

3.3.1 Hög reflektans i Band 2

Sand reflekterar mycket av den inkommande strålningen. Celler som innehåller sand kommer därför ha höga reflektansvärden i de flesta band. Detta bedömdes vara tydligast för Band 2 och alla celler som hade ett reflektansvärde över 750 klassades initialt som sand. Detta värde valdes efter visuell jämförelse mellan cellvärden från Band 2 och ett ortofoto från samma år som satellitbilden (2016).

3.3.2 Definition av nedre gräns för sand - NDWI

För att definiera sandytans nedre gräns mot havet användes ett index för att identifiera vatten. Vatten absorberar nästan all inkommande strålning i det visuella till infraröda delen av spektrumet. Därför kan de gröna och infraröda banden kombineras för att detektera vatten. För detta användes ett index kallat *Normalized Difference Water Index* (NDWI) som beräknas enligt (Sentinel-Hub, u.å.):

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

Green: Grönt våglängdsband, representeras av Band 3 i Sentinel 2.

Red: Rött våglängdsband, representeras av Band 8 i Sentinel 2.

Likt NDVI så ger NDWI värden som går från -1 – +1. Efter visuell utvärdering mot ortofoto klassades alla celler med värde mindre eller lika med -0,08 som vatten.

3.3.3 Definition av övre gräns för sand - SAVI

För att definiera sandytans övre gräns (mot land) användes ett index för att identifiera vegetation. Efter utvärdering mot ortofoto klassades celler med ett SAVI-värde över 0,11 som vegetation.

3.3.4 Klassning sand och aggregering

För att få en slutgiltig klassning av sand gjordes en korrigerig av de celler som initialt klassats som sand (baserat på hög reflektans i Band 2 enligt steg 3.3.1) genom att celler som klassats som vatten (steg 3.3.2) samt de som klassats som vegetation (steg 3.3.3) uteslöts. Även för sand representerades varje rastercell av sin centerpunkt. Alla celler som klassats som sand aggregerades ihop och sammanhängande ytor skapades.

3.3.5 Beräkning av förändring i sandutbredning

Sandytor skapades för både de tidiga bilderna och de sena bilderna. De båda ytorna överlagrades och ytor som definierats som sand i både den tidiga och den sena bilden klassades som ingen förändring. Sandområden som fanns i

den senare bilden men inte i den tidigare klassades som tillkommen sand. Och sand som fanns i den tidiga bilden men inte i den senare klassades som försvunnen sand.

3.3.6 Utvärdering

Vid utvärdering och metodutveckling av förändringsanalysen av sand användes uteslutande ortofoton från 2020 och 2016, d.v.s. ingen annan studie bedömdes som jämförbar med den typ av analys.

3.4 Invasiva arter

För att kartlägga hur vegetationens täckningsgrad varierar på platser som rensas på invasiva arter analyserades två områden i Helsingborg. Analysen gjordes genom att studera hur SAVI förändras över tid.

3.4.1 Urval områden och tidsperiod

Längs Helsingborgs kust finns ett antal områden som under perioden 2015–2021 rensats på invasiva arter, främst parkslide och vresros. De två områden som valdes ut som studieområde var Domsten och Hittarps rev (se Figur 3-5).



Figur 3-5 Domsten och Hittarp, utvalda studieområden i Helsingborgs kommun.

3.4.2 Beräkning av variation vegetationstäckning och utvärdering

Analysen av invasiva arter utgick från variationen i vegetationens täckningsgrad inom studieområdena. SAVI-värden beräknades inom de två studieområdena för varje år mellan 2015 och 2021. Förändringsanalysen gjordes genom en visuell granskning av hur SAVI-värden förändrades mellan de olika åren. Förändringen jämfördes sedan med dokumentation om var och när grävningar

för att rensa bort invasiva arter genomförts. Dokumentation om detta erhöles från Helsingborgs Stad i form av kartmaterial och flygfoton. Dessa digitaliserades och anpassades för att kunna visualisera tillsammans med SAVI-värden för varje år.

För att detaljstudera hur SAVI varierar över tid valdes Hittarps rev ut. Här har grävningar skett för att ta bort invasiva arter under åren 2016, 2019 och 2020. För samtliga områden där det grävts beräknades medelvärdet av alla ingående cellers SAVI-värde för varje enskilt år. Celler på kanten av grävningssområdena summerades procentuellt beroende på hur stor del av deras area som låg innanför. På detta sätt fås ett samlat värde för varje rensningsområde och det är möjligt att följa hur SAVI förändras över tid. Motsvarande beräkning har även gjorts för ett referensområde som valts ut där ingen rensning skett under den analyserade perioden.

4. RESULTAT

På grund av studieområdets storlek presenteras resultaten främst som ett GIS-material. Nedan presenteras endast resultat för de fyra områden som valts ut som exempel. För analys av invasiva arter presenteras resultaten i sin helhet.

Kartorna presentera också som bilagor i storformat.

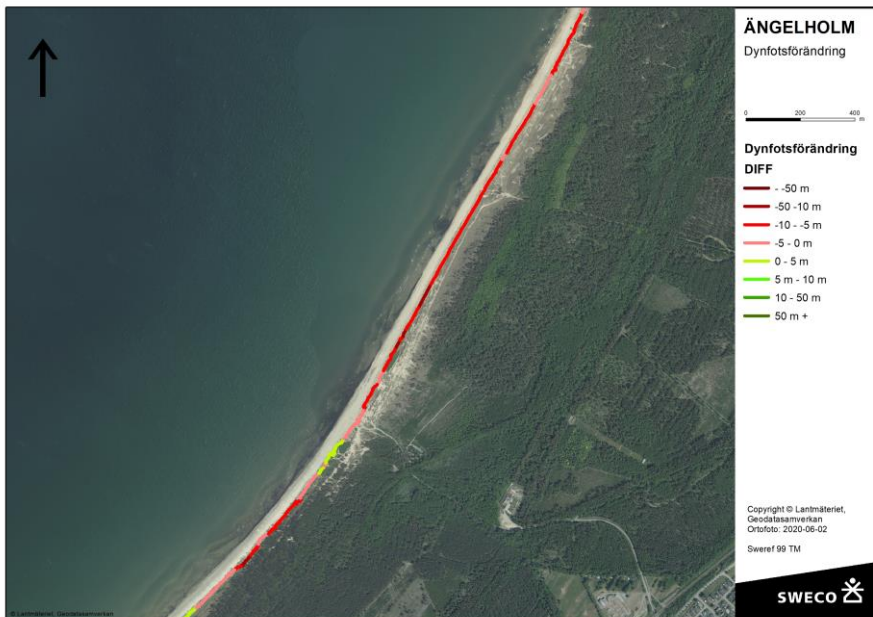
4.1 Vegetationens täckningsgrad och sandutbredning

Nedan presenteras resultat för vegetationens täckningsgrad och sandanalys för de fyra utvalda områdena.

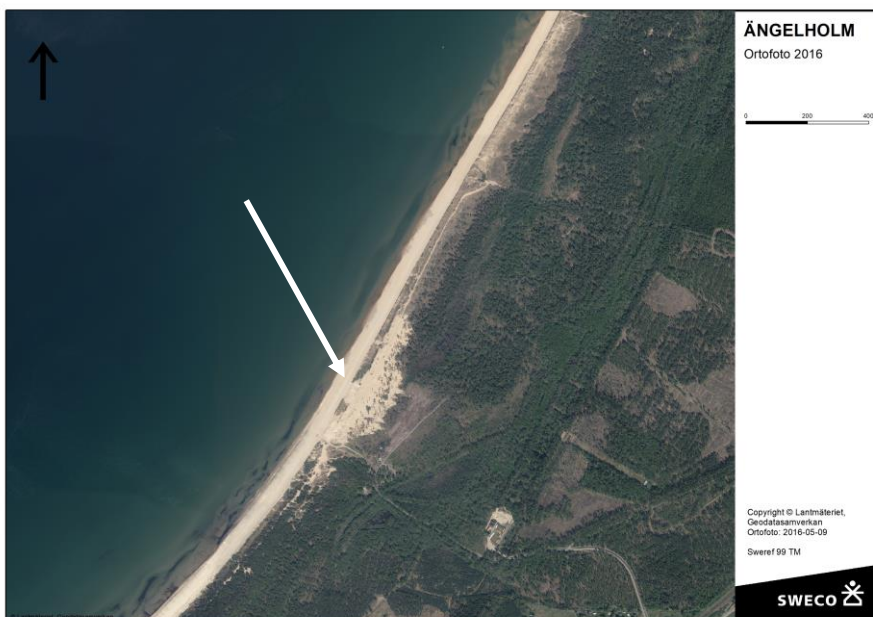
4.1.1 Ängelholm

Ortofoto från år 2020 och resultat från SGU:s dynfotsanalys visas i Figur 4-1. SGU:s dynfotsanalys visar generellt på att dynfoten backat i storleksordningen 5–10 m under åren 2007–2018.

Ortofoto från 2016 visas i Figur 4-2. En visuell jämförelse mellan 2016 och 2020 visar att vegetationen ökat i dynsystemet. Framförallt gäller detta det område som ser ut som ett dynbrott och/eller att främmande arter reinsats i det tidigare fotot (se vit pil i Figur 4-2). Även på andra ställen längs dynen ser det ut som vegetationen ökar.



Figur 4-1 Utvärderingsområde Ångelholm. Ortofoto från 2020 och resultat från SGU:s dynfotsanalys för åren 2007–2018.



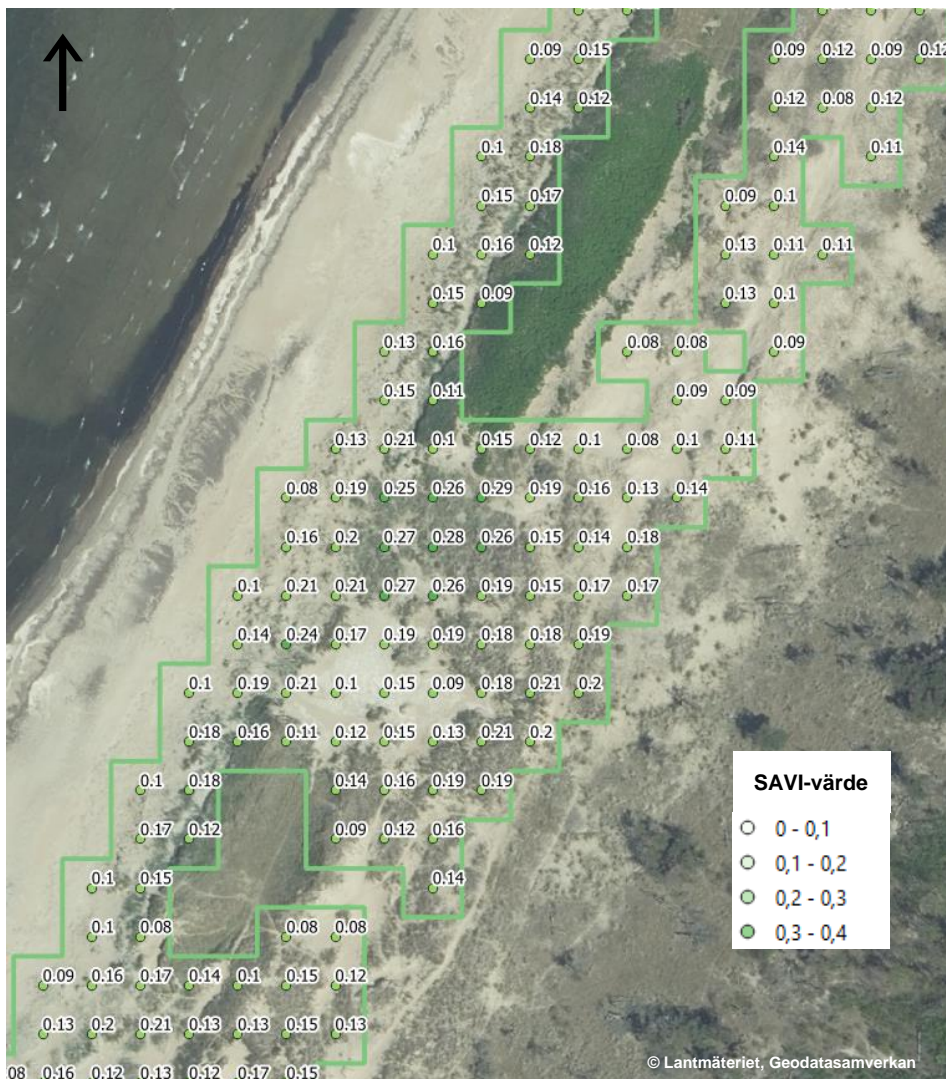
Figur 4-2 Utvärderingsområde Ångelholm. Ortofoto från 2016. Den vita pilen indikerar ett område som utsatts för någon form av påverkan. Troligen ett dynbrott och/eller rensning av invasiva arter.

Figur 4-3 visar resultat från vegetationsanalysen. I princip hela dynsystemet visar på en svagt ökad vegetationstäckning. I hela det område som i Figur 4-2 visar en stor öppen sandyta (se vit pil i Figur 4-2) bedöms vegetationen ha ökat. Endast ett väldigt litet område bedöms ha en minskad vegetationstäckning.



Figur 4-3 Resultat från analysen för vegetationstäckning i Ångelholm. Notera det stora området markerat av den vita pilen som ser ut att växa igen efter vad som ser ut att kunna vara ett dynbrott och/eller resning av invasiva arter.

I Figur 4-4 visas en detaljerad bild av området markerat av den vita pilen ovan. Utsnittet är valt för att illustrera hur resultaten av aggregeringen av punkter med en förändrat SAVI har gått till. Hela området har bedömts ha en svag ökning. Mitt i bilden syns dock celler som uppvisar en förändring i SAVI-värde på över 0,25. Detta delområde bedöms ha mycket stor ökning men effekten av detta försvinner när dessa celler aggregeras ihop med många andra celler som uppvisar en svagare ökning. Exemplet nedan illustrerar också nyttan av att visualisera cellerna som punkterna. Varje punkts värde kan skrivas ut i kartan och jämförelsen mot underliggande ortofoto blir mycket enkel.



Figur 4-4 Stort område i Ångelholm som visar ökande vegetationstäckning. Detta exempel är valt för att illustrera att det för många celler finns en stor ökning i SAVI-värde (högre än 0,25) men att ytan är så stor att den totalt bedöms som svag ökning. För skalreferens så är det 10 m mellan punkterna.

Figur 4-5 visar resultat från sandanalysen. För stora områden längs med dynen bedöms det som att sand har försvunnit. Detta beror förmodligen på att det inte längre finns öppna sandtytor där vegetationen har växt till. I gränsen mot havet indikerar analysen att sand försvunnit, d.v.s. att strandplanet har blivit smalare. Endast i ett mycket litet område (1 cell) bedöms sand ha tillkommit.



Figur 4-5 Resultat från sandanalysen för Ångelholm.

Figur 4-6 visar en detaljerad bild av sandanalysen. De lila områdena visar var sand tillkommit. I figuren syns att sand tillkommit både strax nedanför dynsystem och i gränsen mot havet. Granskning mot ortofoto för åren 2016 och 2020 visar att vegetationen växt till strax nedanför dynfoten, vilket förklarar att dessa celler inte längre definieras som sand. I gränsen mot havet ser det, enligt ortofotona, ut som att sand har tillkommit. Magnituden på förändring är dock så pass liten att den likaväl kan förklaras av variationen i vattenstånd (både mellan tidpunkterna för ortofotona och satellitbilderna) som att det har skett en reell förändring.



Figur 4-6 Resultat av sandanalysen i Ängelholm. En jämförelse mellan ortofotot från 2016 (t.v.) och 2020 (t.h.) tyder på strandplanet blivit smalare, vilket också indikeras av sandanalysen (lila linjer som visar var sand försvunnit).

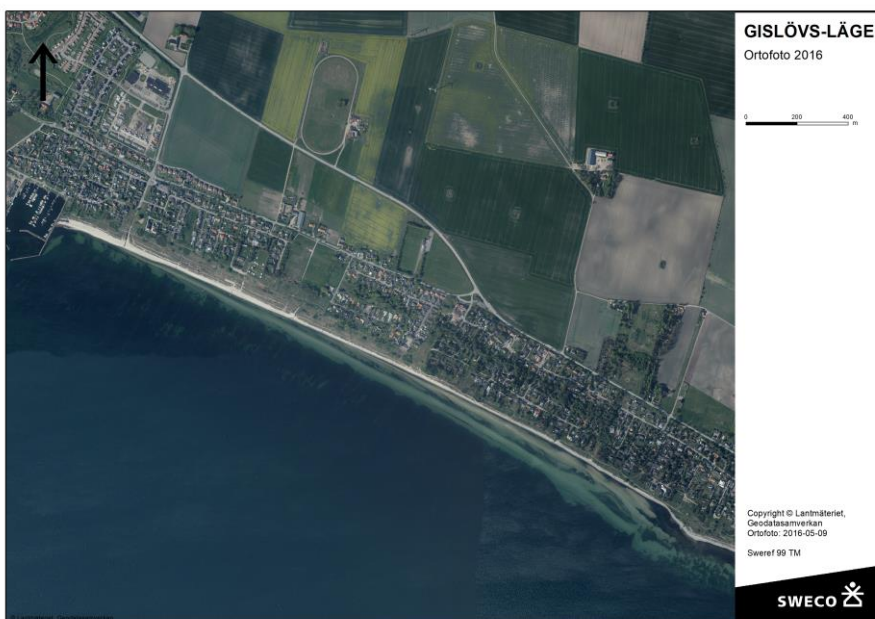
4.1.2 Gislövs läge

Ortofotot från år 2020 och resultat från SGU:s dynfotsanalys för åren 2007–2018 visas i Figur 4-7. SGU:s dynfotsanalys visar på en strand som på vissa sträckor är relativt oförändrad och på vissa sträckor har ackumulerat i storleksordningen 2–10 m. Endast en kort sträcka längst österut visar på erosion.

Ortofotot från 2016 visas i Figur 4-8. Vid en visuell jämförelse mellan ortofotona för 2016 och 2020 visar att strandplanet blivit smalare i väster, och bredare i öster. Stora förändringar i vegetationens utbredning är svåra att se vid en rent visuell granskning. Detaljstudier av ortofotona visar att det finns områden där vegetationen ökat, se exempelvis infälld bild i Figur 4-7. Ökningen är dock svag och dynfotens exakta placering är svårtolkad.

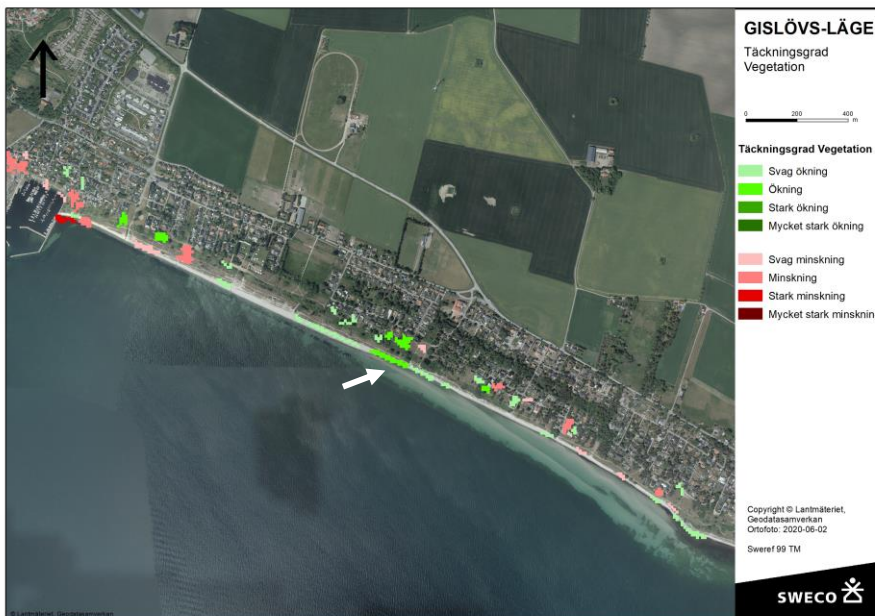


Figur 4-7 Utvärderingsområde Gislövs läge. Ortofoto från 2020 och resultat från SGU:s dynfotsanalys för åren 2007–2018. Infälld bild nere till vänster visar ortofoto från 2020 (t.v.) och 2016 (t.h.) tillsammans med resultat från SGU:s dynfotsanalys utmed sträckan som markeras med en vit pil.



Figur 4-8 Utvärderingsområde Gislövs läge. Ortofoto från 2016.

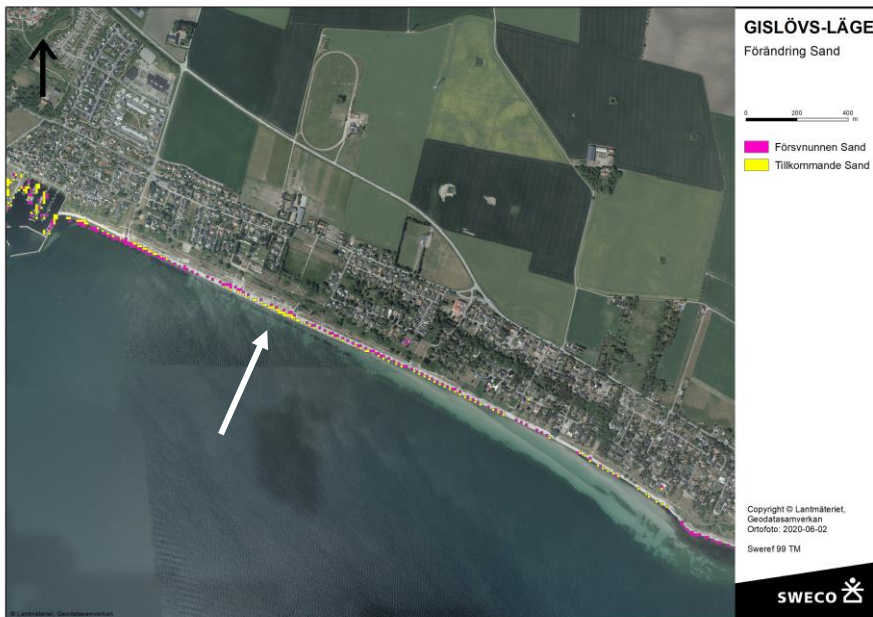
Figur 4-9 visar resultat från vegetationsanalysen. Längst västerut ses områden med starkt minskad vegetationstäckning. Många delar av sträckan bedöms som oförändrad och vissa delar bedöms ha en ökande vegetationstäckning. Den vita pilen visar område med ökande vegetationstäckning, samma område visas i Figur 4-7 och bedöms av SGU:s ha ackumulation (+5 m). Notera också att analysen fångar förändringar som ligger på ett visst avstånd från strandlinjen, uppe i bebyggda områden.



Figur 4-9 Resultat från analysen för vegetationstäckning i Gislövs läge.

Figur 4-10 visar resultat från sandanalysen. Resultatet är svårtolkat, men det går att urskilja att sand försvunnit i väster vilket överensstämmer med den skillnad som kan ses mellan tidigt och sent ortofoto. Samtidigt bedöms sand ha tillkommit på nästa samma plats. Samma mönster, med ömsom tillkommande och ömsom försvunnen sand, kan ses utmed en längre del av kuststräckan. Längst österut finns ett område där resultatet visar att sand försvunnit.

Det ställe där sandanalysen har bäst träffsäkerhet jämfört med ortofotona markeras av den vita pilen. Här är ett något större sammanhängande område med tillkommen sand.

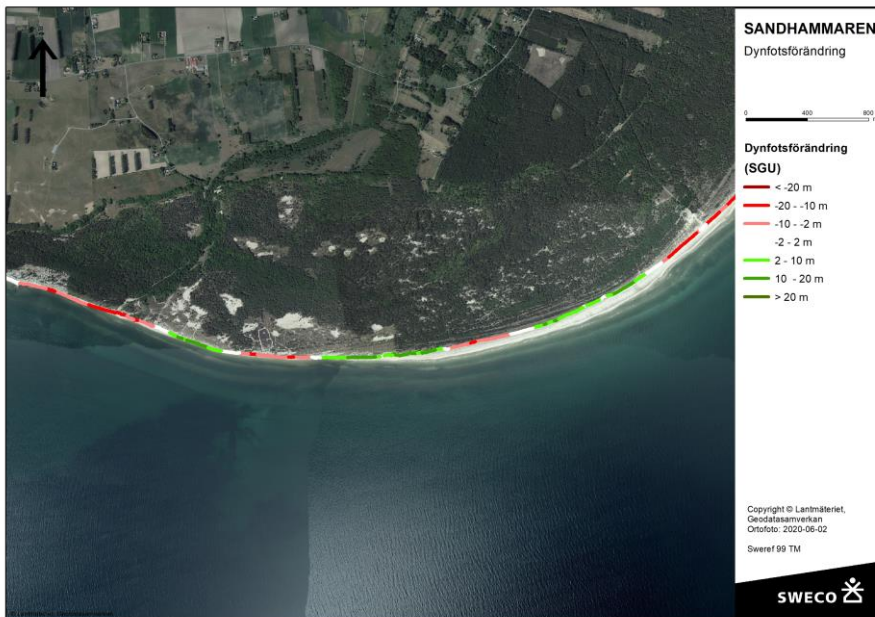


Figur 4-10 Resultat från sandanalysen i Gislövs läge.

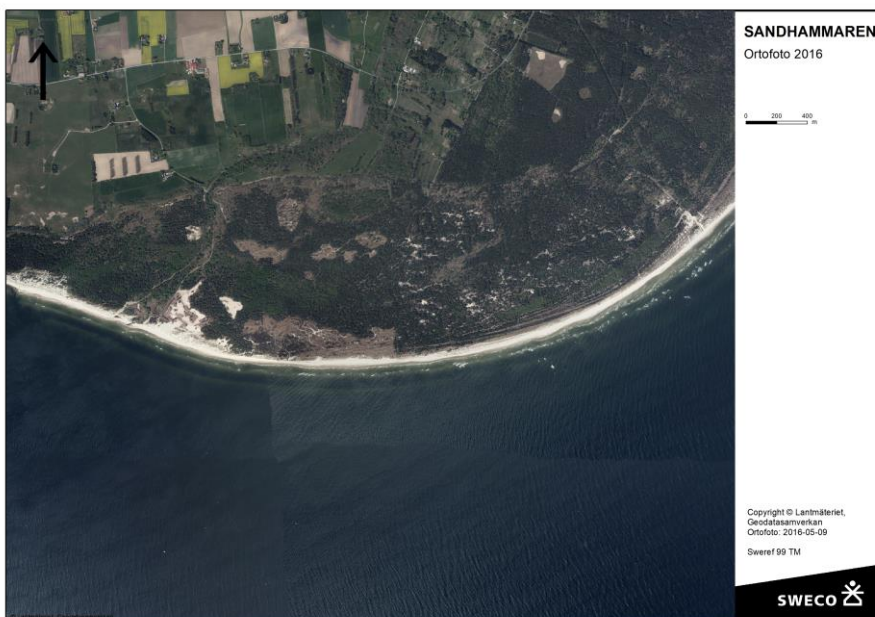
4.1.3 Sandhammaren

Ortofoto från år 2020 och resultat från SGU:s dynfotsanalys för åren 2007–2018 visas i Figur 4-11. Dynfotsanalysen visar att dynfoten har backat i storleksordningen 2–20 m utmed vissa delar av stranden, och ökat i samma utsträckning utmed andra delar.

Ortofoto för 2016 visas i Figur 4-12. En detaljerad visuell jämförelse mellan dessa tyder på en ökad vegetationstäckning på många platser, speciellt i de östra delarna. Likaså har strandplanet blivit smalare i väster, men bredare i öster.

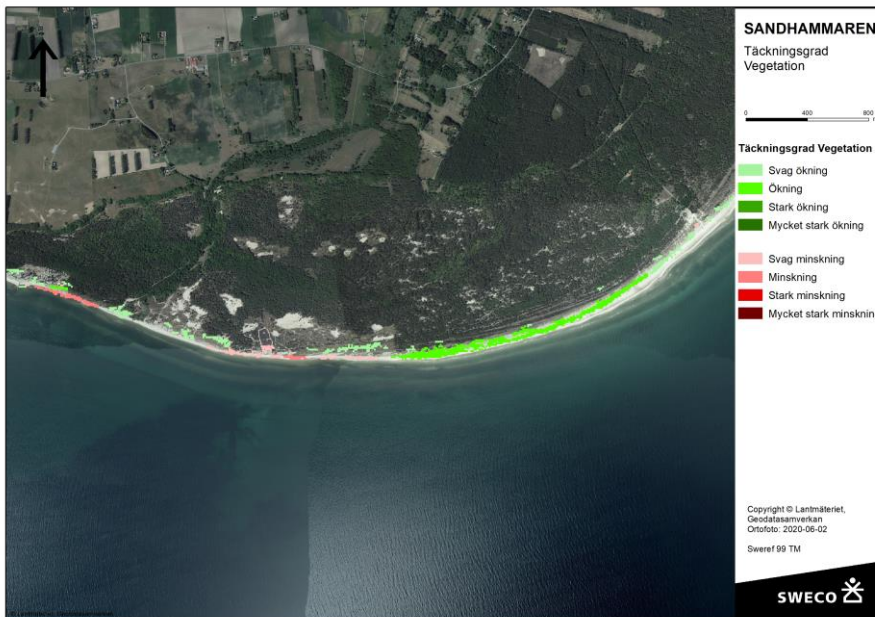


Figur 4-11 Utvärderingsområde Sandhammaren. Ortofoto från 2020 och resultat från SGU:s dynfotsanalys för åren 2007–2018.



Figur 4-12 Utvärderingsområde Sandhammaren. Ortofoto från 2016.

Resultatet från vegetationsanalysen för Sandhammaren visas i Figur 4-13. Vegetationens täckningsgrad bedöms minska i den västra delen av stranden närmast vattenlinjen. Uppe i dynsystemet i väster bedöms den öka. Österut bedöms ett stort område ha en ökning i täckningsgrad, såväl nära vattenlinjen som uppe i dynsystemet.



Figur 4-13 Resultat från analysen för vegetationstäckning i Sandhammaren.

Figur 4-14 visar resultat från sandanalysen för Sandhammaren. Längst i väster visar resultaten på att stora ytor sand har tillkommit. Strax öster om detta område visar analysen på att sand har försvunnit. I de östra delarna av sträckan visar resultaten att sand har försvunnit vid dynfoten, men tillkommit närmast strandplanet.

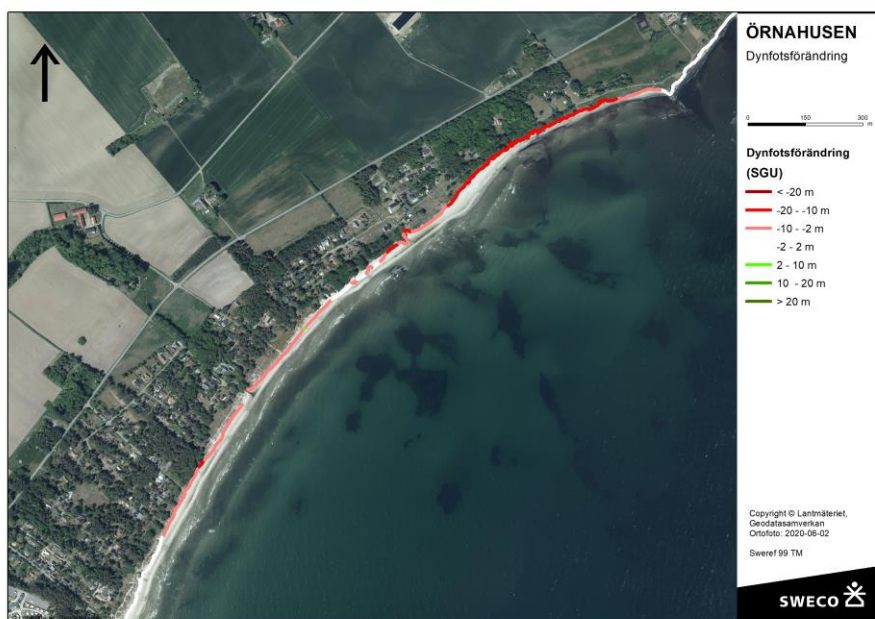


Figur 4-14 Resultat från sandanalysen i Sandhammaren

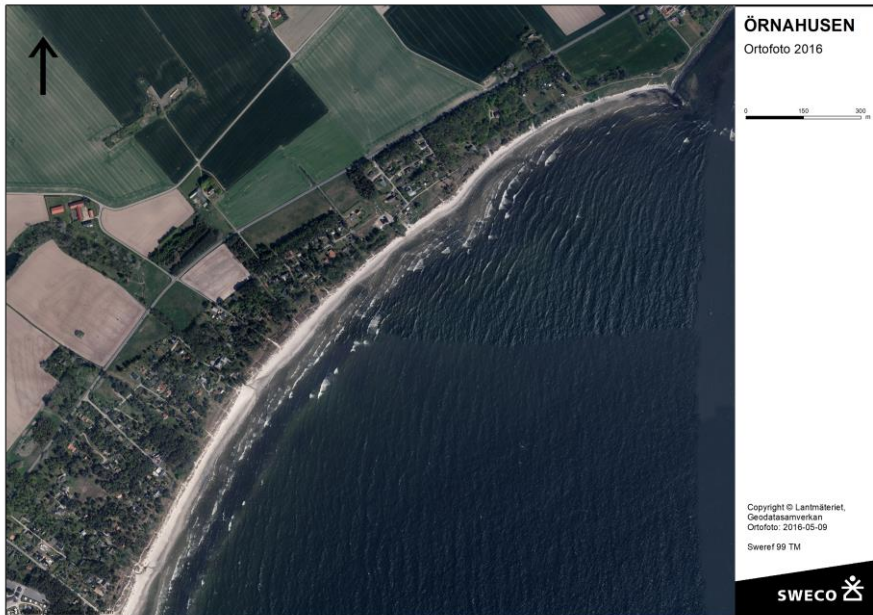
4.1.4 Örnahusen

Ortofoto från år 2020 och resultat från SGU:s dynfotsanalys för åren 2007–2018 visas i Figur 4-15. Dynfotsanalysen visar att på en strand där dynfoten backat längs stora delar av stranden i storleksordningen 2–10 m i söder och 10–20 m i norr.

Ortofoto för 2016 visas i Figur 4-16. En detaljerad visuell jämförelse med ortofotot från 2020 tyder på att vegetationslinjen backat under denna period. Vad gäller strandplanet är det svårare att se några tydliga skillnader mellan ortofotona 2020 och 2016. Området verkar vara mycket grunt men det ser ut som att strandplanet blivit något smalare på vissa ställen

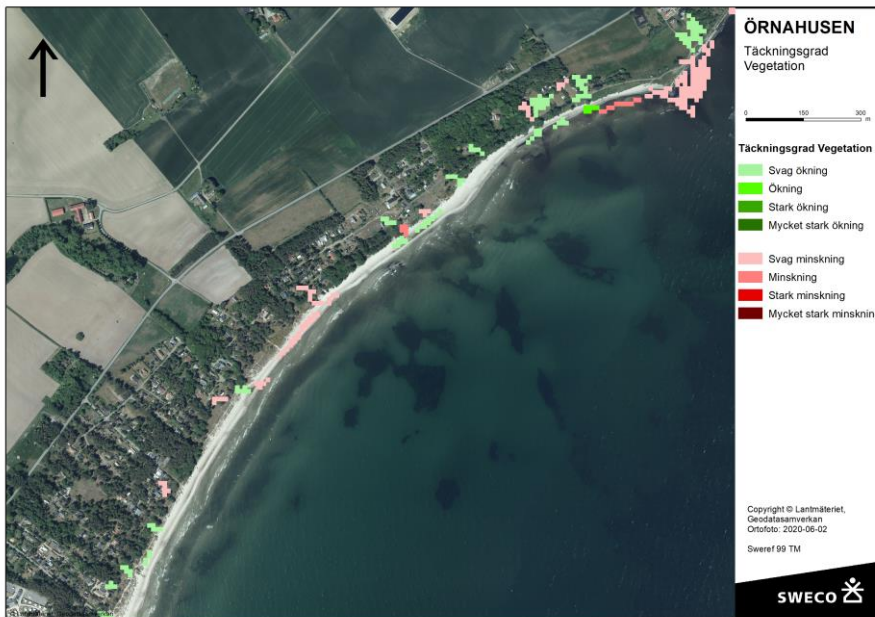


Figur 4-15 Utvärderingsområde Örnahusen. Ortografiskt flygbild från 2020 och resultat från SGU:s dynfotsanalys för åren 2007–2018.



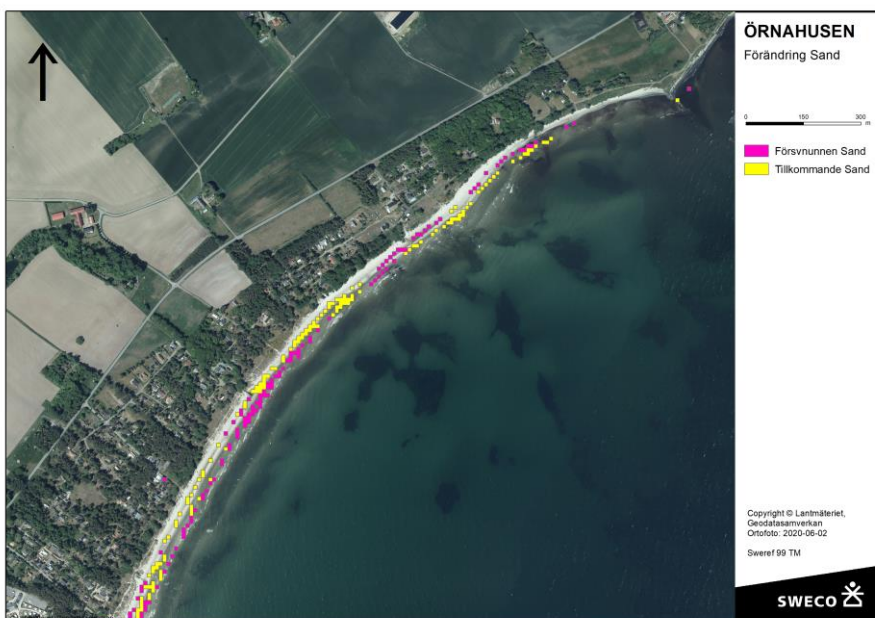
Figur 4-16 Utvärderingsområde Örnahusen. Ortofoto från 2016.

Resultatet från vegetationsanalysen för Örnahusen visas i Figur 4-17. Endast i två större områden bedöms vegetationens täckningsgrad ha minskat. Notera att för området i nordost har minskningen i vegetationens täckningsgrad registrerats en bit ut i havet. Endast mindre områden bedöms ha fått ökad vegetationstäckning, och även en del av dessa ligger i havet. Anledningen till att förändringarna registreras ute i havet är inte helt klarlagd. En möjlig förklaring skulle kunna vara att det är grunt och att undervattensvegetationen påverkar, se diskussion för vidare resonemang. Notera också områden som indikerar förändring längre upp från strandremsan. Många av dessa ligger i bebyggda områden.



Figur 4-17 Resultat från analysen för vegetationstäckning i Örnahusen.

Figur 4-18 visar resultat från sandanalysen för Örnahusen. Resultaten är svårtolkade och visar på att det både tillkommit och försvunnit sand. Notera att även resultatet för sand ligger ganska långt ut i havet. Liksom för vegetationsanalysen är anledningen till registreringar ute i havet är inte helt klarlagd, se diskussion för vidare resonemang.



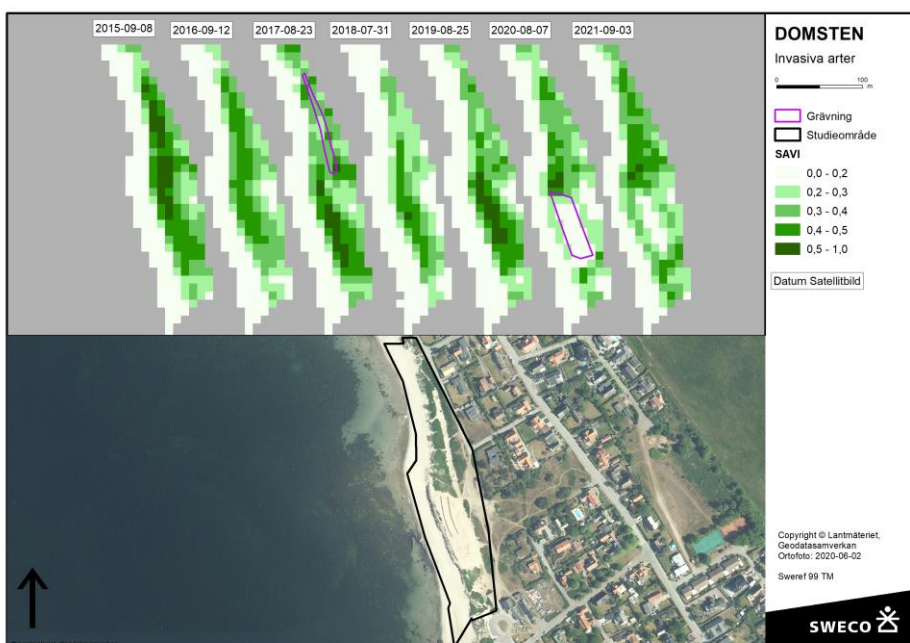
Figur 4-18 Resultat från sandanalysen för Örnahusen.

4.2 Invasiva arter

Resultatet från analysen för invasiva arter för Domsten visas i Figur 4-19. Datumet ovanför resultaten visar datum som satellitbilden är tagen. Lila markeringarna indikerar var bortgrävning av invasiva arter har skett för respektive år. Grävningarna är gjorda på våren, satellitbilderna är från samma år som grävningen men tagna ca 6 månader senare. Underst i kartan visas det analyserade området i svart med ett ortofoto för 2020 som bakgrundskarta.

För grävningen som gjordes 2020 syns år både år 2020 och 2021 en tydlig minskning i SAVI-värde jämfört med tidigare år. För grävningen som gjordes 2017 är det svårt att rent visuellt se någon minskning i SAVI-värde inom rensningsområdet.

Ytterligare grävningar har skett i Domsten, men fullständig information om tidpunkt och läge för dessa är vid rapportens publicerande inte kända.



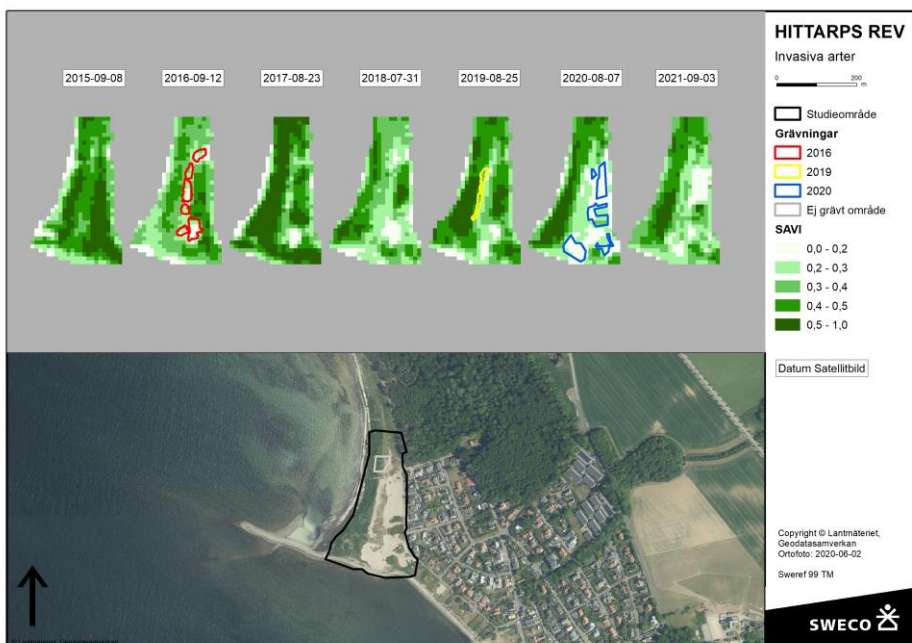
Figur 4-19 Resultat av analysen för invasiva arter för Domsten.

Resultatet från analysen för invasiva arter för Hittarps rev visas i Figur 4-20. Resultatet presenteras på samma sätt som för Domsten med skillnaden att de grävningarna för olika år har markerats med olika färger.

På de platser där invasiva arter grävts bort syns en kraftig minskning i SAVI-värde jämfört med föregående år. Exempelvis så har cellerna inom det området som grävts 2020 ett SAVI-värde på mellan 0,4 och 0,55 år 2019. År 2020 har alla celler ett värde under 0,1 med undantag för kantcellerna. Dessa ligger på gränsen av det rensade området och har således vegetation kvar. De låga SAVI-värdena består åren efter grävningen men allt eftersom vegetationen återhämtar sig ökar också SAVI-värdet.

Särskilt noterbart är att SAVI-värdena varierar generellt, även i de områden där ingen grävning genomförts. Resultaten för åren 2016 och 2018 sticker ut då

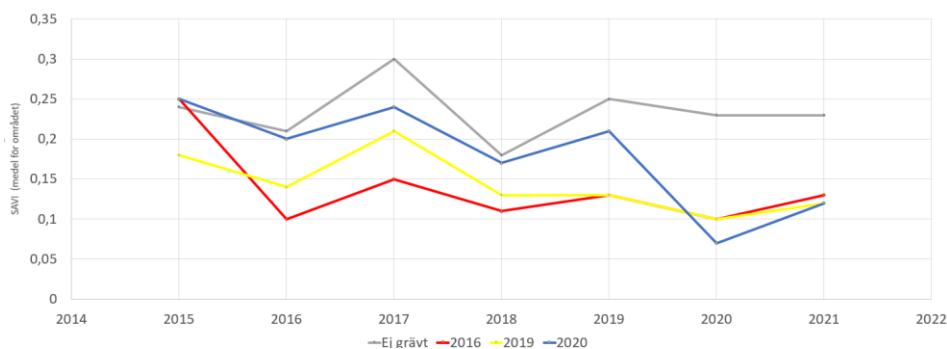
SAVI-värdena under dessa år generellt är lägre än för övriga år. SAVI-värdena för 2017 särskiljer sig också, då de generellt är högre än under resterande år



Figur 4-20 Resultat av analysen för invasiva arter för Hittarps rev. De fyra områden som valts ut för detaljstudie i hur SAVI varierar över tid. Notera att området som inte har grävts presenteras i den undre kartan.

I Figur 4-21 presenteras medelvärde för cellernas SAVI-värden för varje år inom respektive grävningssområde samt i referensområdet där ingen grävning skett.

Medelvärde för SAVI för de utvalda områdena år 2015 - 2016
Hittarps Rev



Figur 4-21 Medelvärde för SAVI under åren 2015–2021 inom de områden som blivit grävda samt i ett område där ingen grävning skett.

Det område som markeras med grått har valts ut för att det inte har blivit grävt under studieperioden. Initialt, år 2015 har referensområdet (grå linje) ca 0,25 i SAVI-värde. 2016 sjunker SAVI något för att sedan öka 2017. 2018 är SAVI återigen lägre, för att år 2019 vara tillbaka kring 0,25, där det sedan håller sig stabilt under resterande år.

För de områden som grävdes 2016 (röd linje) är det initiala SAVI-värdet ca 0,25. Efter rensning 2016 sjunker det till ca 0,10 och håller sig sedan relativt stabilt. Även här sticker 2017 års värde ut något.

De områden som rensades 2019 (gul linje) har ett något lägre initialt värde jämfört med övriga, strax under 0,2. År 2017 har området en topp i SAVI. Rensningen 2019 är inte synlig som en minskning av medelvärdet i området.

De områden som rensades år 2020 (blå linje) har ett initialt SAVI-värde på 0,25, och som sedan sjunker något fram till år 2019. År 2020 ses en tydlig minskning av SAVI-värdet, som efter grävningen låg på 0,075.

Notera att alla grävda områden i slutet av studieperioden (år 2021) har likvärdiga SAVI-värden, vilket kan jämföras med det område som inte har blivit grävt (grå linje) som har ett betydligt högre SAVI-värde.

5. DISKUSSION

5.1 Datainsamling och bearbetning

Datainsamling och bearbetning har varit en viktig del av projektet. För att analysera data på det sätt som gjorts i denna studie krävs kunskaper och förståelse för hur Sentinel 2-data är lagrad och strukturerad, samt för vilka potentiella felkällor som finns.

En stor felkälla är moln. Vid urval av bilder för denna studie har stor vikt lagts på att använda helt molnfria bilder. Detta gör datafångsten mycket svår och begränsar antalet bilder som är användbara. För varje bild finns det s.k. molnmasker som visar var det finns moln. Dessa skulle potentiellt kunna användas för att välja bort delar ur en satellitbild som innehåller moln.

Vid skapandet av ytan som definierar den analyserade kustzonen har åkrar tagits bort. Det hade varit önskvärt att exkludera även andra typer av markanvändning, exempel på detta är vägar och hamnområden. Här förväntas kustprocesser inte ha någon påverkan och alla förändringar som detekteras behöver nödvändigtvis inte vara naturliga. Den valda zonen på 100 m på var sida om strandlinjen skulle också kunna anpassas. Ibland är 100 m ett för stort område att analysera, och ibland för litet.

När data före 2017 processats har en specifik version av Sen2Cor använts. Efter utvärdering av de processade resultaten gjordes bedömningen att det var rätt version som använts, och att de produkter som skapades skulle vara jämförbara med de L2A-produkter som användes från 2021. Det kan dock inte uteslutas att en annan metod eller version av Sen2Cor hade gett andra resultat.

Vid processering används en höjdmmodell (DEM) för viss korrigerigering (kallat *Topographic normalization*). Den höjdmmodell som används vid standardinställningar på Sen2Cor är 50x50 m. Detta kan eventuellt ge förskjutningar i data vid stora höjdskillnader. Ett område som uppvisar problem som skulle kunna kopplas till detta är Kullaberg. Hela den norra delen av Kullaberg bedöms enligt analysen som ökande vegetationstäckning (se GIS-material). För områden, som har väldigt stora höjdskillnader i kustzonen, är det möjligt att detaljnivån på höjdmmodellen kan spela in. Därför hade det varit intressant att testa vid vidare studier om en mer detaljerad höjdmmodell hade kunnat ge stabilare värden.

Vad som framförallt är anmärkningsvärt är hur svårt det är att använda de äldre Sentinelbilderna före 2017. Det hade varit önskvärt om det fanns tillgängliga L2A-produkter för hela dataserien som är processerade och behandlade på exakt samma sätt. Det finns indikationer på att detta är på gång, och enligt ESA ska en databearbetning av det tidiga arkivet ske (European Space Agency, u.å. a). För vidare studier kan detta vara en stor fördel och underlätta metodarbetet mycket.

5.2 Vegetationens täckningsgrad

5.2.1 Allmän diskussion

Ett av studiens huvudsyfte var att utreda om den spatiala upplösning på 10 m som Sentinel 2 erbjuder är tillräcklig för att kartlägga kustprocesser. Resultaten och utvärdering mot både SGU:s dynfotsanalys och ortofoton tyder på att det finns potential för att fånga förändringar i storleksordningen 5–10 m och uppåt.

Den spatiala upplösningen är 10 m, så bedömningen att det går att detektera förändringar under 10 m grundar sig på att metodiken inte mäter en faktisk position (exempelvis vegetationslinjen), utan en relativ skillnad i SAVI-värde. Detta är också en av styrkorna med metoden. I resultaten kan detta ses i både Ängelholm och i Gislövs läge. Jämförelser mellan analysresultat och ortofoton visar på en god överensstämmelse och förändringar på ca 5–10 m. Vad som också är tydligt är att det går att följa att själva dynsystemet har fått ökad vegetationstäckning. Detta syns tydligast i resultaten från Ängelholm och Sandhammaren. En sådan analys är väldigt svår att göra visuellt och är tidskrävande. Metodiken i denna studie visar på att det går att göra denna analys för väldigt stora områden, rent av hela Sveriges kust. Analysen går dessutom att automatisera samt uppdatera när nya bilder finns tillgängliga.

Resultatet av analysen är omfattande och många gånger svårtolkat. För att få en överblick över hela det studerade området och kunna identifiera de områden som visar störst förändring är någon form av urval och förenkling nödvändig. Bara för att en enstaka cell uppvisar en stor förändring i SAVI innebär det inte att det faktiskt skett en förändring. Genom att ställa krav på att förändringen måste vara större än ett visst värde, samt att det måste finnas flera sammanhängande celler som uppvisar förändring kan sådana effekter filtreras bort och resultatet blir mer lättolkat och stabilt. Studien visar att en förenkling i tolkningen kan skapas om varje förändringsyta tilldelas en siffra som anger förändring per ytenhet.

Vid utvärderingen och metodutvecklingen har ortofotona varit till störst hjälp. Ortofotona stämmer någorlunda väl överens med de tidpunkter som satellitbilderna är tagna. För de sena bilderna skiljer det dock ett år (satellitbilder från 2021 och ortofoton från 2020) vilket ibland varit en utmaning. I exempelvis Helsingborg finns områden som flaggas av analysen som kraftigt minskad vegetationstäckning, vilket däremot inte kan ses på ortofotot från 2020. Dock visade det sig att det i dessa områden skett grävningar för att ta bort invasiva arter under våren 2021¹. Detta gjorde det tydligt att det kan finnas resultat som är korrekta, men som vid granskning mot ortofotot 2020 ser ut att vara felaktiga. Eventuellt hade det varit bättre att använda satellitbilder från 2020 och 2016 istället, för att få en bättre överensstämmelse med ortofotona. Detta hade underlättat tolkning och metodutveckling. Nackdelen är att den analyserade tidsperioden hade blivit kortare.

Ett av huvudsyftena med att använda SGU:s dynfotsanalys för utvärdering var att försöka fastställa vilken magnitud av förändring som kan fångas. Detta visade sig vara svårare än förväntat. Dels för att de olika analyserna visar på olika saker, dels för att dynfotens läge och vegetationens täckningsgrad inte är

¹ Elisabeth Lindberg, områdesförvaltare på Helsingborgs stad, muntligen 2021-11-26.

samma sak, men främst var det svårt för de båda analyserna täcker olika tidsperioder.

Resultaten från Ängelholm visar på hur viktig tidsperioden är för att bedöma hur erosionsutsatt en sträcka är. SGU:s dynfotsanalys visar på erosion och satellitbildsanalysen visar på ökad vegetationstäckning. Båda analyserna bedöms som trovärdiga. Istället för att motsäga varandra är de båda studierna här kompletterande och visar på dynamiken i systemet. Vidare är det intressant att ställa frågan om den ökande vegetationstäckningen och återhämtning i dynsystemet som ses i Ängelholm kan kopplas till den minskande stormfrekvensen.

Under de år som SGU:s dynfotsanalys täcker (2007–2018) var det 14 stormar. Detta kan jämföras med 8 stormar för åren 2015–2021 som använts för analys av vegetationstäckning och sand (se Tabell 2-1). Ingen detaljerad analys av stormarna har gjorts vad gäller intensitet och riktning. Noterbart är dock att de stormar med högst återkomsttid (Ivar, Ole och Gorm) alla inträffade under perioden som dynfotsanalysen täcker, men före eller precis i början av studieperioden för satellitbildsanalysen. Ett tänkbart scenario är att det har skett en påverkan från stormar strax före eller i början av studieperioden. Under själva studieperioden har denna påverkan från stormar varit lägre vilket har gett vegetationen möjlighet att etablera sig. Frågan är om vad som händer vid framtida stormar. Kanske kommer den vegetation som under åren 2016–2021 etablerat sig att försvinna.

5.2.2 Svårigheter med data

Eftersom vegetationsanalysen görs i en buffertzona på 100 m från strandlinjen så kommer även förändringar fångas som inte är kopplat till några processer som är intressanta ur ett kustzonsförvaltningsperspektiv. Detta syns tydligt i både Gislövs läge och Örnahusen. Dessa resultat är av mindre intresse och bidrar till brus vid tolkning av resultaten. För vidare studier föreslås att den analyserade ytan anpassas för att bättre täcka endast de områden som är av intresse att studera.

De exempel som presenterats vid Ängelholm och Sandhammaren tyder på en stor potential för att använda fjärranalys för studier av denna typ. Men de problem som ses vid Örnahusen försvårar bedömningen. Jämförelser av ortofotona samt SGU:s dynfotsanalys tyder på förändrad vegetationstäckning som är av den storleksordningen att den borde fångas av analysen. Visserligen finns det områden som fångas som minskad vegetationstäckning, men dessa ligger inte på rätt plats utan är förskjutna ut i havet.

En förklaring till detta kan vara att undervattensvegetationen slår igenom. Små variationer i vattenstånd kan då ge väldigt olika utslag. Ett angreppssätt för att undvika detta kan vara att endast göra analysen på det som idag definieras som land. Urvalet kan göras antingen rent geografiskt vid skapandet av buffertzonen, eller genom att helt exkludera individuella celler som har ett SAVI-värde på 0 eller ett NDWI-värde som indikerar vatten. Om detta görs kommer dock aldrig en stor förändring att kunna detekteras. Exempelvis om det sker ackumulering i ett område som tidigare varit hav och vegetation etablerar sig så kommer detta område inte fångas av analysen.

Det går inte heller helt att utesluta ett rent datafel. Kanske är det en störning (exempelvis slöjmoln) i någon av de analyserade bilderna som ger denna effekt. För att undersöka detta hade det varit intressant att byta ut någon, eller båda bilderna, för att se om resultatet är detsamma.

En jämförelse mellan resultaten från Sandhammaren och Örnahusen visar hur svårtolkade resultaten är för olika platser. Bedömning enligt ortofotona tyder på att området vid Örnahusen är långgrundt och med utvecklad bottenvegetation, medan Sandhammaren inte har någon bottenvegetation. Eventuellt behövs olika angreppssätt och analysmetoder på olika platser.

För vidareutveckling av vegetationsanalysen föreslås att flera bilder används för varje år för att fylla igen luckor där det exempelvis finns moln. Säsongsvariationer hade varit intressant att undersöka för att fastställa hur SAVI varierar över året. Kanske hade det varit bättre att välja vårbilder istället för sensommarbilder.

5.2.3 Potential vegetationens täckningsgrad

Resultaten visar att det finns en potential att använda Sentinel 2-data inom kustzonsförvaltning genom övervakning av förändringar i vegetationens täckningsgrad. En fördel med Sentinel 2-data jämfört med ortofoton är att de har en högre temporal upplösning. En annan fördel är att metodiken som använts i denna studie är automatiserad och maskinell, vilket innebär att analysen är objektiv och även enkelt går att upprepa med ny data eller för nya områden. En ytterligare fördel är att Satellitdata täcker stora geografiska områden, vilket möjliggör en heltäckande, likvärdig, kartering av hela Sveriges kust. Kombinerat ger dessa tre nämnda fördelar en stor potential för svensk kustzonsförvaltning

Syftet med studien är att visa på potentialen, inte att utveckla en färdig metodik. Så de valda kriterierna för förändring i SAVI-värde ($\pm 0,08$), samt storlekskrav på ytan som krävs (500 m^2) är inget annat än ett försök. Båda värdena ovan är godtyckligt valda efter initiala jämförelser mot ortofoton. Ett annat angreppssätt hade varit att, utifrån alla ingående punkters förändring i SAVI-värde ta fram olika statistiska mått och exempelvis definiera en standardavvikelse som gräns. För att detta ska vara möjligt krävs dock en exkludering av ytor som inte är önskvärda att studera. Ett exempel är delar av Malmö hamn där det sker stora ombyggnader. Dessa områden uppvisar stark förändring och sticker ut i analysen. Om dessa används för att statistiskt ta fram mått på förändring kan det ge felaktiga värden. Likaså är gränsen på 500 m^2 inte vidare utvärderad. Här finns rum för vidare studier.

En annan viktig slutsats är att varken vegetationsanalysen eller sandanalysen kan visa på förändringar i sandvolym. Detta ska tas i beaktande vid tolkning av resultat. Ett tänkbart scenario för en erosionsutsatt dyn (se exempelvis Figur 4-4 för exempel i Ängelholm) är att den under en stormintensiv period backar. Efter detta sker en återetablering av vegetation framför (i de nya fördynerna) och i dynen. Trots att vegetationstäckningen ökar kan stora volymer sand ha eroderats.

Resultaten, så som de presenteras i GIS-materialet, kan förslagsvis användas på två sätt. 1) På stor skala; genom att välja ut endast de ytor som uppvisar stark till mycket stark förändring kan en övergripande bild för en sträcka eller

helt område fås. 2) På liten skala; vid detaljstudier av ett område kan alla förändringsytor användas tillsammans med de individuella punkterna. På detta sätt ges en mer heltäckande bild och det är möjlighet för användaren att i sin egen tolkning fylla igen de brister som ges av den förenkling av data som skett vid aggregeringen. Ett tydligt exempel på detta visas i Ängelholm (se Figur 4-4).

5.3 Sandutbredning

5.3.1 Allmän diskussion

Metodiken för att detektera förändringar i sandvolym får ses som mer experimentell jämfört med metodiken för vegetationsförändring. Metoden för sand har utvecklats under detta projekt och har många svagheter, men också några styrkor.

Styrkorna är som tydligast vid stora förändringar. Resultat från området längst västerut på Falsterbonäset (visas inte i denna rapport, se GIS-material) visar att det går att detektera när stora sandtytor kommer till eller försvinner. Vid Sandhammaren visar resultaten på att strandplanet har förflyttat sig ut i havet samtidigt som sand försvinner i bakkant närmast dynen när vegetationen breder ut sig.

5.3.2 Svårigheter med data

Svagheterna är desto fler. För det första så används SAVI-värdet för att definiera sandytans övre gräns mot land. Detta kommer då alltid ge resultat som visar att sand försvinner där vegetationen ökar. En annan svaghet är att det aktuella vattenståndet kommer påverka väldigt mycket eftersom sandytans nedre gräns utgår från förekomsten av vatten. Om det är högt vattenstånd vid den tidiga bilden och lågt vid den sena bilden kommer analysen visa på att sand tillkommit, och vice versa. För grunda områden kan detta ge stora fel.

En annan aspekt är uppspolad tång. Bedömningen är att denna inte har någon större inverkan på vegetationsanalysen (ingen aktiv fotosyntes sker), men på sandanalysen är det förmodligen vital då områden som täcks av tång riskerar att vara allt för mörka för att klassas som sand.

Slutsatsen som kan dras som kan dras av detta är att sandanalysen får ses som relativt svårbedömd och osäker. Den kan absolut användas som ett komplement till vegetationsanalysen, men den behöver förfinas. En utvärdering som visar hur väl analysen fungerar på att klassa sand hade varit till stor nytta för tolkning och vidarutveckling. Kanske borde SAVI-värdet strykas som en delmängd i analysen. Detta för att undvika att de båda analyserna visar samma sak. Vidare borde urvalet av satellitbilder även ta hänsyn till vattenståndet så att effekter av detta kan undvikas.

5.3.3 Potential sandanalys

Ett möjligt användningsområde för sandanalysen kan vara att detaljstudera och följa områden som fodrats. Det täta intervall med bilder som erbjuds gör det möjligt att i nästan realtid följa hur mycket sand som ligger kvar samt var sand försvinner. Ett annat användningsområde är att följa hur ett strandplan förändras. Ett exempel på detta kan ses i resultaten för Sandhammaren.

5.4 Invasiva arter

5.4.1 Allmän diskussion

I resultatkartorna för Domsten och Hittarps rev går det att rent visuellt se hur en bortgrävning av invasiva arter sänker SAVI-värdet inom området. Det går också att se hur vegetationen återetablerar sig efterföljande år. Noterbart är att även i vegetationsanalysen sticker dessa områden ut, de som nyligen rensats framträder i resultatet som områden med kraftigt minskad vegetationstäckning (se GIS-material).

Viktigt att komma ihåg är att det endast är en generell täckningsgrad av vegetation som går att analysera. Det går alltså att se att det sker en återetablering, men det går inte att säga vilken art det är som återetablerar sig. En slutsats är att den spatiala upplösningen på 10 m är detaljerad nog för att följa vegetationens täckningsgrad i större områden som rensas. I Domsten ses ett smalt område som rensades 2017 (se Figur 4-19). Detta område är väldigt smalt, mindre än 10 m i bredd, och möjligen finns det en tendens till att SAVI-värdena är lägre här följande år. Dock är signalen svag och slutsatsen får dras att det här är i gränslandet för vad Sentinels upplösning på 10 m kan fånga.

Analysen som följer SAVI över tid för Hittarps rev (Figur 4-21) visar på några intressanta trender. Först och främst är det tydligt att i det område som inte blivit grävt så varierar medelvärdet för SAVI relativt mycket mellan åren. Framförallt sticker år 2017 ut som högt, och 2016 respektive 2018 som lågt. Troligtvis kan detta förklaras av 2018 var ett torrt år och att satellitbilden är från slutet av juli. Att värdena för 2016 är lägre kan bero på att det är slöjmoln i bilden (vilket beskrivs mer i detalj i nästkommande avsnitt). Varför 2017 är så pass högt är svårare att hitta en förklaring till. Resultatet för det område som inte grävts kan också kopplas till vegetationsanalysen. Variationen som ses här speglar den variation och osäkerhet som finns i både dataunderlag och förhållanden vid tidpunkt för när satellitbilden togs. Detta understryker vikten av att aggregera resultaten och att i största möjliga mån använda likvärdiga och molnfria bilder.

För området som rensats år 2016 syns effekten av grävningen tydligt (se Figur 4-21). Även här är 2017 års värden högre, resterande år håller sig SAVI relativt stabilt vilket skulle kunna tolkas som att de invasiva arterna inte kommit tillbaka utan att det är en mer sparsam vegetation som etablerat sig. Resultatet av grävningarna 2019 går inte att urskilja. Anledningen till detta är förmodligen att dessa områden är så pass smala (under 10 m) och omkringliggande pixlar får stor inverkan. Grävningarna som gjorts 2020 syns tydligt och tecken på viss återetablering har skett 2021. Noterbart är att SAVI i dessa områden inte ökar fram till grävningen, snarare minskar. Detta skulle kunna tolkas som att de invasiva arternas utbredning inte har ökat mellan 2015–2020, utan hållit sig på en stabil nivå.

5.4.2 Svårigheter med data

Vid analysen har molnfria bilder så nära 1 september som möjligt eftersträvat. Resultatet visar att hur svårt det är att hitta en bildserie över så många år som är jämförbar. För år 2018 var den bild som bäst stämmer överens med detta kriterium tagen 31 juli, för 2015 var det den 8 september. Mellan dessa bilder är det 5 veckors skillnad. Det är troligt att vegetationens täckningsgrad skiljer sig något mellan slutet av juli och början av september.

En troligen än större felkälla är variation i väder mellan år. Ingen detaljstudie av väderförhållanden för de ingående satellitbilderna har gjorts. Dock var 2018 ett väldigt varmt och torrt år. Värme och torka borde stressa växterna och resultera i generellt lägre SAVI-värden, vilket skulle kunna förklara varför det för både Domsten och Hittarps rev är det generellt lägre SAVI-värden för 2018. Det hade varit önskvärt att för just 2018 använda en bild som är tagen närmare den 1 september. Tyvärr finns inte detta, och nästa molnfria bild är från den 12 oktober.

Att SAVI-värdena för 2016 är så låga är vid en första anblick svårförklarligt. Först vid studie av den aktuella satellitbilden syns det att det finns gott om moln i bilden, se Figur 5-1. Vid en första anblick ser det ut som det är molnfritt över Domsten/Hittarp, men vid noggrannare granskning kan tunna slöjmoln ses över dessa områden. Detta skulle kunna vara en förklaring till de något lägre SAVI-värdena för 2016. Om detta är fallet så är det ett ytterligare bevis på vikten av att använda molnfria bilder.



Figur 5-1 Sentinel 2-bild från 2016-09-12.

5.4.3 Potential för övervakning av invasiva arter

Resultaten tyder på att det finns en potential för att övervaka områden med invasiva arter med hjälp av Sentinel 2-data. Det är exempelvis möjligt att efter en rensning följa hur vegetationen återetablerar sig. Ett förslag på användningsområde för analysen är att när SAVI-värdet i det rensade området

närmar sig de nivåer som innan rensning, och/eller ökar snabbt, så kan ett fältbesök genomföras för att inventera vilka arter det är som etablerat sig. På så sätt går det att besvara om de önskvärda arterna har kunnat etablera sig eller om det är de invasiva arterna som kommit tillbaka.

Störst potential skulle dock finnas i att kunna detektera när invasiva arter breder ut sig i ett område. Detta bedöms som möjligt, men svårt. En indikation på detta skulle vara ett snabbt ökande SAVI-värde mellan två tillfällen, eller att SAVI-värdet överstiger ett visst tröskelvärde. Denna studie ger en antydning om att gles strandvegetation (exempelvis strandråg) ofta har ett SAVI-värde någonstans mellan 0,1–0,3. Om SAVI överstiger 0,5 är det troligt att det är andra arter med högre vegetationstäckning som finns i området. För att hitta ett sådant tröskelvärde skulle mer detaljerade studier krävas som inkluderar fältbesök med karteringar av artutbredning, vilka sedan relateras till satellitbilder för det aktuella datumet.

Generellt kan sägas att för små områden som är enkla att besöka och övervaka i fält är potentialen att använda Sentinel-data låg. För stora områden som är tidskrävande att inventera är potentialen stor.

Genom att på förhand definiera vilka områden som är intressanta skulle det vara fullt möjligt att sätta upp ett system som, år för år, gör motsvarande analys som gjorts i denna studie och sedan flaggar för områden med snabbt ökande SAVI-värden. En sådan lösning skulle då vara möjlig för hela Sveriges kuststräcka.

5.4.4 Koppling vegetationsanalys och invasiva arter

För att göra en koppling mellan vegetationsanalysen, som endast genomförts mellan två tillfällen, och analysen för invasiva arter som genomförts för varje år mellan 2015–2021, så bedöms här finnas en stor potential. För vegetationsanalysen hade det varit intressant att på samma sätt sammanställa Sentinel 2-bilder för alla ingående år och sedan presentera alla ingående års värden (liknande resultaten för invasiva arter se Figur 4-21). Detta skulle ge en större förståelse för hur värdena varierar över tid och visa på när en förändring sker, inte bara att den skett någon gång mellan start och slutdatum för analysen. Ett GIS-system som erbjuder möjligheter för en användare att själv definiera sitt studieområde för att sedan få ut resultat liknande de i Figur 4-21 ses ur ett kustzonsförvaltningsperspektiv som mycket användbart. Ett sådant system skulle också göras dynamiskt så att nya bilder kan läggas till vartefter de blir tillgängliga. Värdet av ett sådant system skulle då öka med tiden.

6. SLUTSATSER

Syftet med studien var att visa på potentialen med fjärranalys generellt och Sentinel 2-data specifikt. Följande slutsatser kan dras:

- Satellitdata har potential att i vissa fall ersätta, men främst komplettera, de studier som idag görs manuellt via ortofoto.
- För studier av vegetationslinjen bedöms det att, med Sentinel 2-data, vara möjligt att detektera förändringar i storleksordningen 5–10 m och uppåt.
- För studier av förändringar i vegetationens täckningsgrad samt övervakning av invasiva arter erbjuder Sentinel 2-data nya möjligheter jämfört med manuell tolkning av ortofoton. Detta då vegetationens täckningsgrad kan uppskattas för hela dynsystemet och inte bara längs vegetationslinjen.
- Den höga temporal upplösningen möjliggör tätare uppföljningsintervall jämfört med ortofoton.
- All analys kan göras rent maskinellt, vilket ger likvärdiga resultat över stora områden. Metodiken är upprepbar och är möjlig att applicera på nya studieområden. Det är också möjligt att uppdatera analysen när ny data är tillgänglig.
- Sentinel 2-data täcker stora geografiska områden, vilket möjliggör en heltäckande, likvärdig, kartering av hela Sveriges kust
- En utmaning med att använda data från Sentinel 2 är att det är relativt komplicerat och kräver ingående kunskap i hur data är lagrad och strukturerad.
- En annan utmaning är brus i data, vilket kan vara ett stort problem. Moln bedöms vara den främsta källan till brus, men också säsongsvariationer och variationer i väder mellan år påverkar mycket. Även lokala förhållanden såsom genomslag av bottenvegetation vid olika vattenstånd och eventuellt uppspolad tång kan påverka.
- Analysen av sandutbredning visar att det finns möjlighet att detektera områden där sand antingen har försvunnit eller tillkommit. Den utvecklade metodiken bygger på ett antal antaganden och skulle behöva utvärderas och eventuellt vidareutvecklas.
- Det finns potential att följa områden som rensats på invasiva arter genom att studera hur vegetationstäckningen varierar. Det går att se att områden som rensats får en lägre vegetationstäckning samt hur de växer igen efter rensningen. Upplösningen på Sentinel 2-data gör att utvecklingen i små områden är svårare att bevaka. Speciellt gäller detta

smala områden. Potentialen bedöms därför som störst för bevakning på större skalor.

- För invasiva arter är det inte möjligt att avgöra vilken art det är som växer i ett visst område. För att i ett tidigt stadium se när invasiva arter etablerar sig krävs det vidare studier som testar om invasiva arter verkligen har ett högre förväntat SAVI-värde jämfört med annan strandvegetation. Förmodligen krävs även längre dataserier för att kunna dra säkra slutsatser.

7. REFERENSER

- Aydda, A., Althuwaynee, O. F., & Pokharel, B. (2020). An easy method for barchan dunes automatic extraction from multispectral satellite data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 419.
- Copernicus. (u.å.). *Copernicus Open Access Hub*. Hämtat från <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> den 5 oktober 2021
- ESRI. (u.å.). *SAVI*. Hämtat från <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/arcpy/spatial-analyst/savi.htm> den 18 januari 2022
- European Space Agency. (u.å. a). *Copernicus Sentinel-2 Collection 1 MSI Level-1C (L1C)*. Hämtat från Sentinel Online: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/sentinel-data-access/sentinel-products/sentinel-2-data-products/collection-1-level-1c> den 1 december 2021
- European Space Agency. (u.å. b). *Product Types*. Hämtat från Sentinel Online: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types> den 1 december 2021
- European Space Agency. (u.å. c). *Sen2Cor*. Hämtat från <https://step.esa.int/main/snap-supported-plugins/sen2cor/> den 5 oktober 2021
- European Space Agency. (u.å. d). *Sentinel-2*. Hämtat från <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> den 1 december 2021
- European Space Agency. (u.å. e). *Spatial Resolution*. Hämtat från Sentinel Online: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial> den 1 december 2021
- Metria. (u.å.). *En kartläggning av hela Sveriges marktäckte med satellitbilder*. Hämtat från Metria: https://metria.se/kundreportage__trashed/nationella-marktackedata-nmd/ den 1 december 2021
- NASA. (den 30 augusti 2000). *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. Hämtat från Earth Observatory: https://www.earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php den 1 december 2021
- Sentinel-Hub. (u.å.). *NDWI Normalized Difference Water Index*. Hämtat från custom-scripts: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndwi/> den 5 oktober 2021
- SGU. (2021). *Fysiska och dynamiska förhållanden längs Skånes kust - underlag för klimatanpassningsåtgärder (SGU-rapport 2021:02)*. Uppsala: SGU.
- SMHI. (den 29 december 2021). *Stormar i Sverige*. Hämtat från SMHI: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/stormar-i-sverige/stormar-i-sverige-1.5770> den 17 januari 2022

Allmän diskussion Sentinel 2: Ludvig Forslund, GIS och fjärranalys på Copernicus Land Monitoring Service (CLMS), European Environmental Agency (EEA).

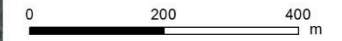
8. BILAGOR – RESULTATKARTOR I STORFORMAT

8.1 Ängelholm



ÄNGELHOLM

Dynfotsförändring



Dynfotsförändring (SGU)



Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2020-06-02

Sweref 99 TM





ÄNGELHOLM

Ortofoto 2016

0 200 400 m

Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2016-05-09

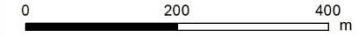
Sweref 99 TM

SWECO



ÄNGELHOLM

Täckningsgrad
Vegetation



Täckningsgrad Vegetation

- Svag ökning
- Ökning
- Stark ökning
- Mycket stark ökning
- Svag minskning
- Minskning
- Stark minskning
- Mycket stark minskning

Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2020-06-02

Sweref 99 TM







ÄNGELHOLM

Förändring Sand



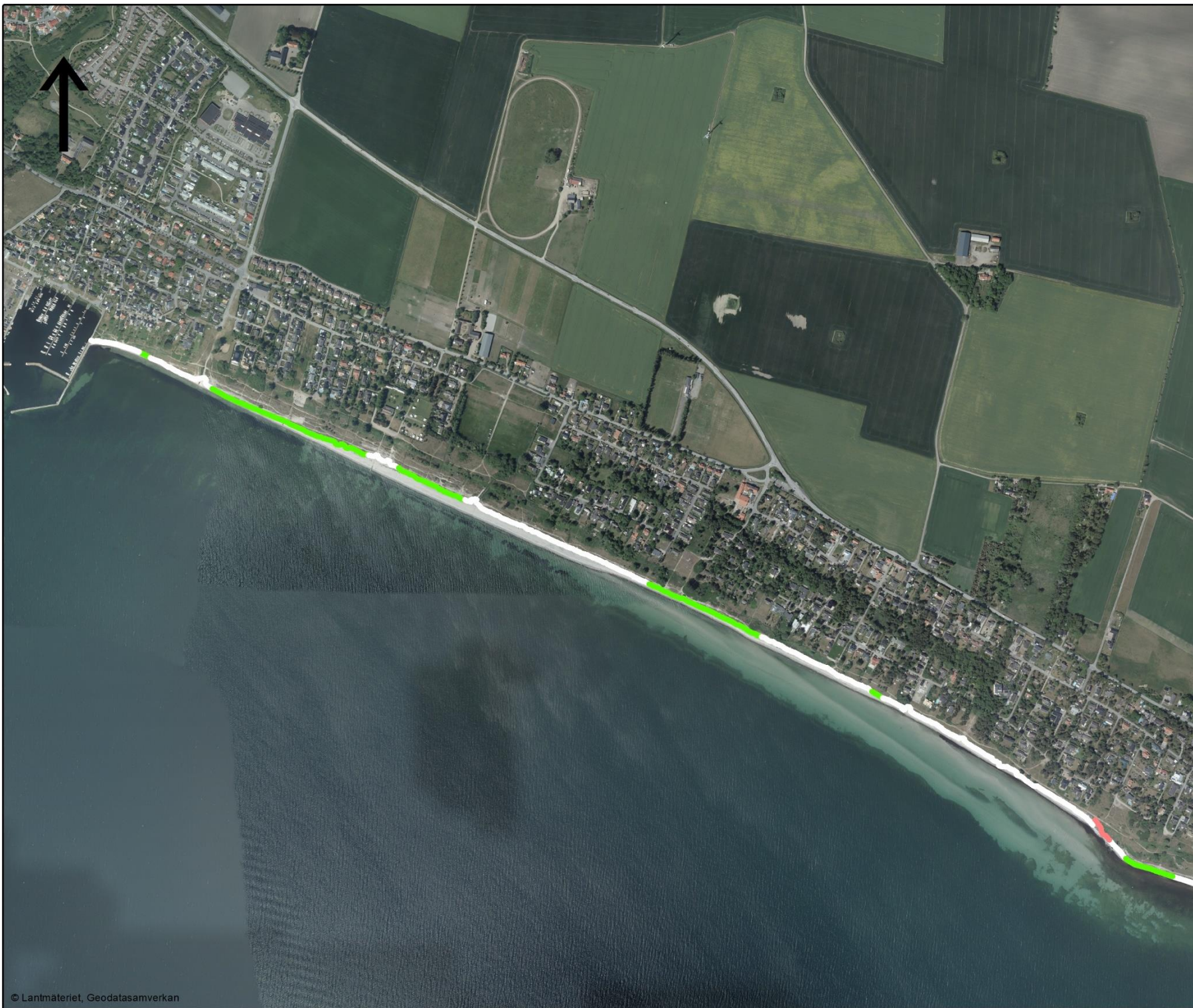
-  Försvunnen Sand
-  Tillkommande Sand

Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2020-06-02

Sweref 99 TM

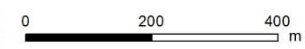


8.2 Gislövs läge



GISLÖVS-LÄGE

Dynfotsförändring



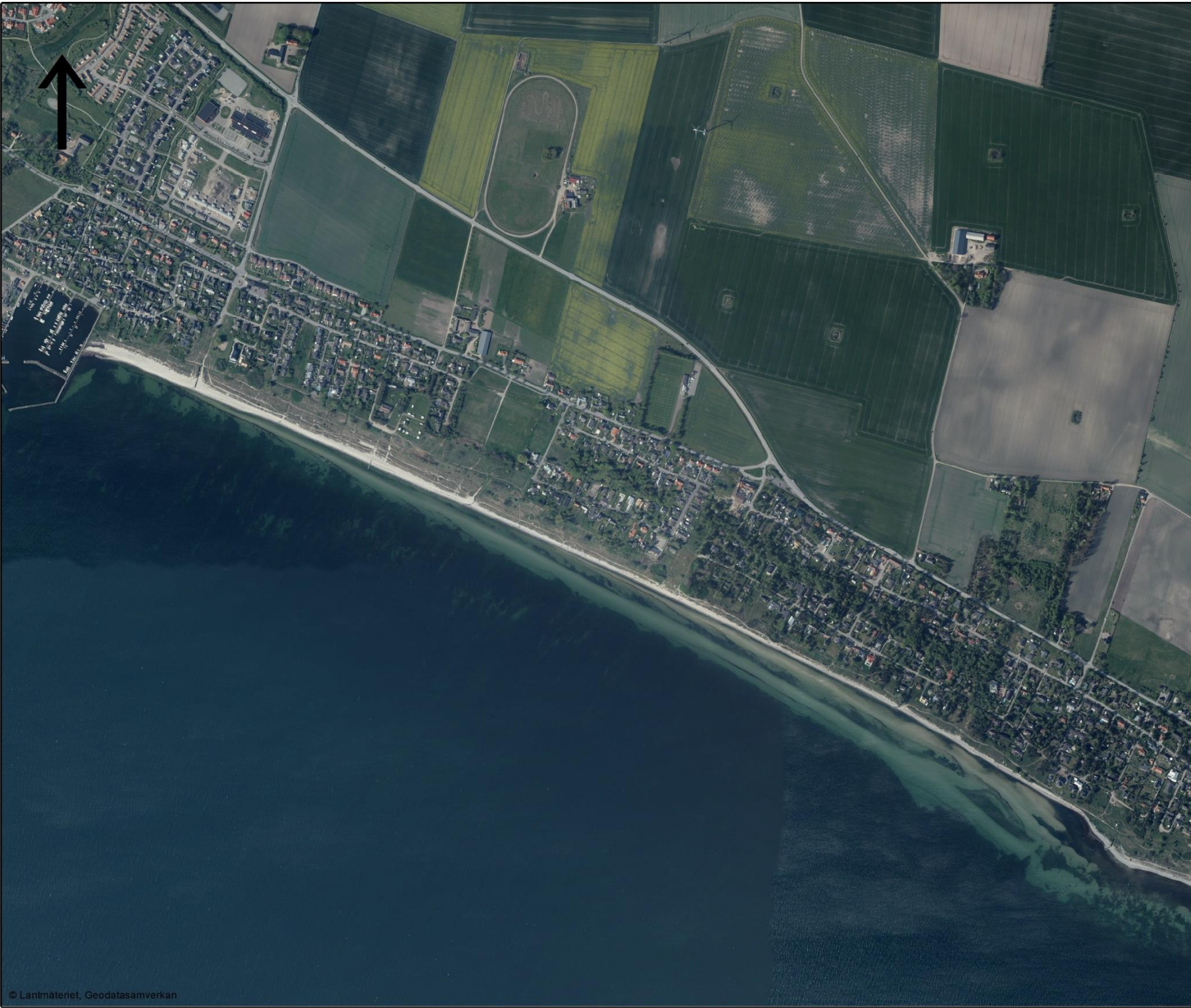
Dynfotsförändring (SGU)

-  < -20 m
-  -20 - -10 m
-  -10 - -2 m
-  -2 - 2 m
-  2 - 10 m
-  10 - 20 m
-  > 20 m

Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2020-06-02

Sweref 99 TM





GISLÖVS-LÄGE

Ortofoto 2016

0 200 400 m

Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2016-05-09

Sweref99 TM



GISLÖVS-LÄGE

Täckningsgrad
Vegetation

0 200 400
m

Täckningsgrad Vegetation

-  Svag ökning
-  Ökning
-  Stark ökning
-  Mycket stark ökning
-  Svag minskning
-  Minskning
-  Stark minskning
-  Mycket stark minskning


Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2020-06-02

Sweref 99 TM

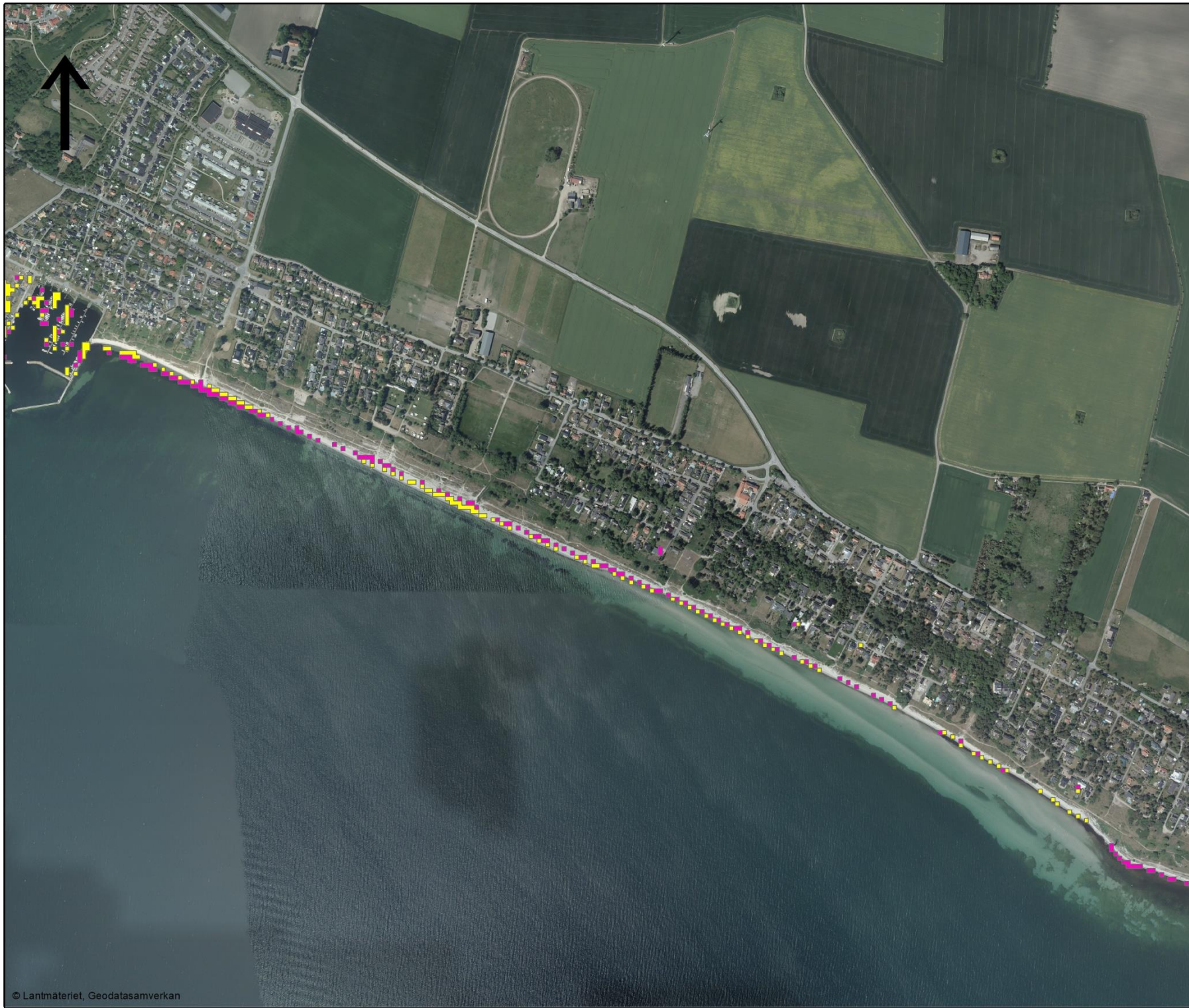
GISLÖVS-LÄGE

Förändring Sand



 Försvnunnen Sand

 Tillkommande Sand



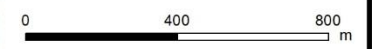
Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2020-06-02

Sweref 99 TM

8.3 Sandhammaren

SANDHAMMAREN

Dynfotsförändring



Dynfotsförändring (SGU)

-  < -20 m
-  -20 - -10 m
-  -10 - -2 m
-  -2 - 2 m
-  2 - 10 m
-  10 - 20 m
-  > 20 m

Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2020-06-02

Sweref 99 TM





SANDHAMMAREN

Ortofoto 2016

0 200 400 m

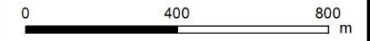
Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2016-05-09

Sweref 99 TM



SANDHAMMAREN

Täckningsgrad
Vegetation



Täckningsgrad Vegetation

- Svag ökning
- Ökning
- Stark ökning
- Mycket stark ökning
- Svag minskning
- Minskning
- Stark minskning
- Mycket stark minskning


Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2020-06-02

Sweref 99 TM

SANDHAMMAREN

Förändring Sand



 Försvnunen Sand

 Tillkommande Sand

Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2020-06-02

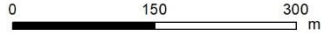
Sweref 99 TM

8.4 Örnahusen



ÖRÑHAUSEN

Dynfotsförändring



Dynfotsförändring (SGU)

-  < -20 m
-  -20 - -10 m
-  -10 - -2 m
-  -2 - 2 m
-  2 - 10 m
-  10 - 20 m
-  > 20 m

Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2020-06-02

Sweref 99 TM





ÖRÑHAUSEN

Ortofoto 2016



Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2016-05-09

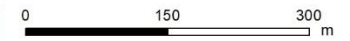
Sweref 99 TM





ÖRNAHUSEN

Täckningsgrad
Vegetation



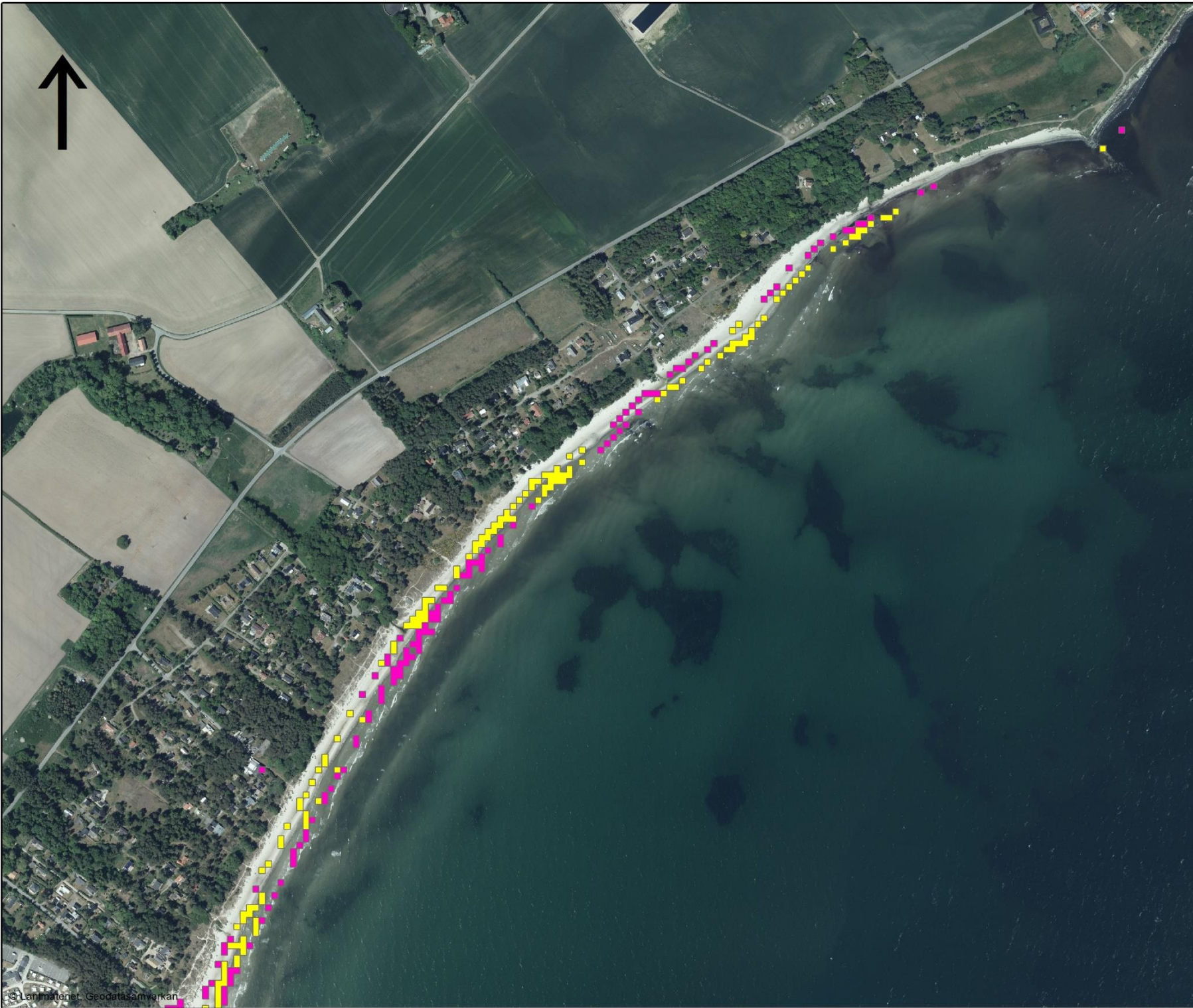
Täckningsgrad Vegetation

-  Svag ökning
-  Ökning
-  Stark ökning
-  Mycket stark ökning
-  Svag minskning
-  Minskning
-  Stark minskning
-  Mycket stark minskning

Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2020-06-02

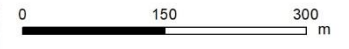
Sweref 99 TM





ÖRÑHAUSEN

Förändring Sand



- Försvunnen Sand
- Tillkommande Sand

Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortoto: 2020-06-02

Sweref 99 TM



8.5 Invasiva arter

2015-09-08

2016-09-12

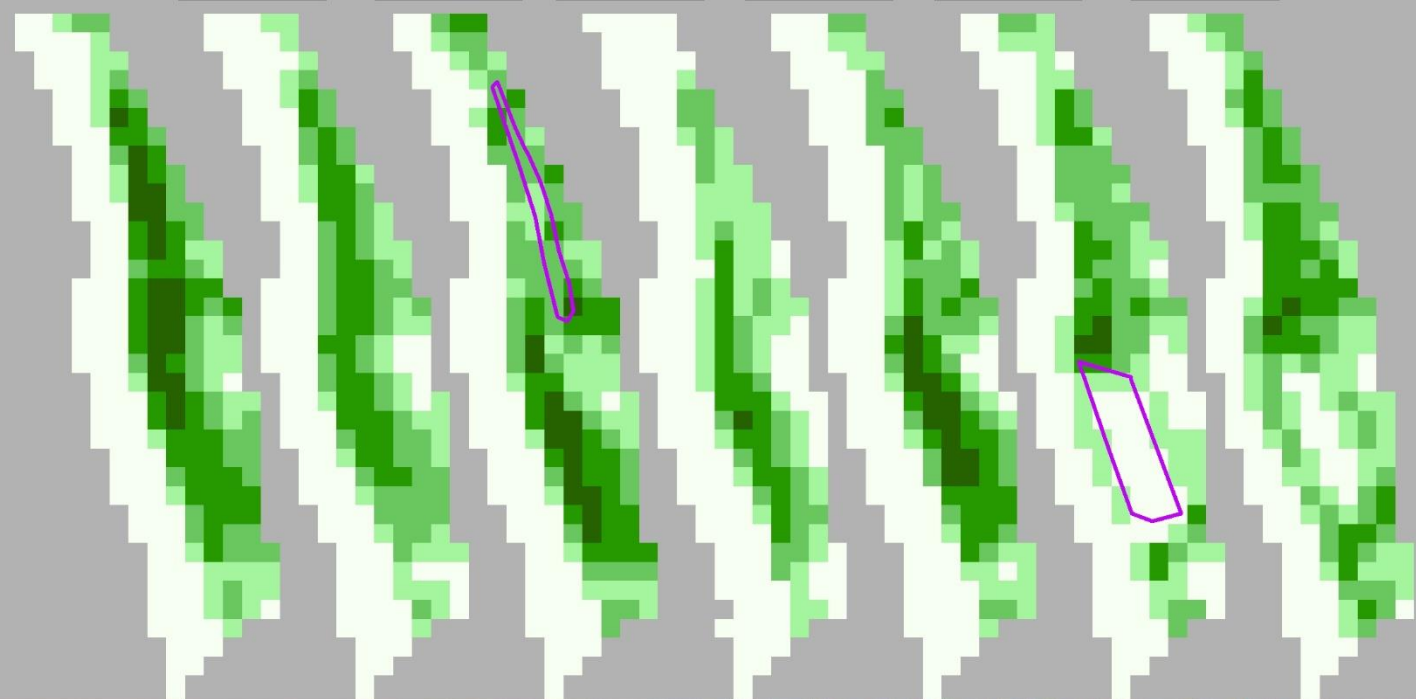
2017-08-23

2018-07-31

2019-08-25

2020-08-07


2021-09-03








DOMSTEN

Invasiva arter



-  Grävning
-  Studieområde

SAVI

-  0,0 - 0,2
-  0,2 - 0,3
-  0,3 - 0,4
-  0,4 - 0,5
-  0,5 - 1,0

Datum Satellitbild



Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2020-06-02

Sweref 99 TM



HITTARPS REV

Invasiva arter



Studieområde

Grävningar

2016

2019

2020

Ej grävt område

SAVI

0,0 - 0,2

0,2 - 0,3

0,3 - 0,4

0,4 - 0,5

0,5 - 1,0

Datum Satellitbild

Copyright © Lantmäteriet,
Geodatasamverkan
Ortofoto: 2020-06-02

Sweref 99 TM

2015-09-08

2016-09-12

2017-08-23

2018-07-31

2019-08-25

2020-08-07

2021-09-03

