

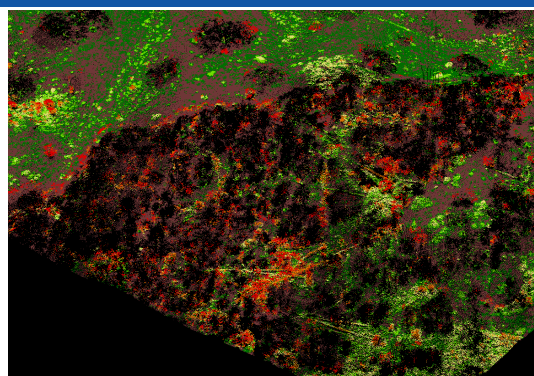
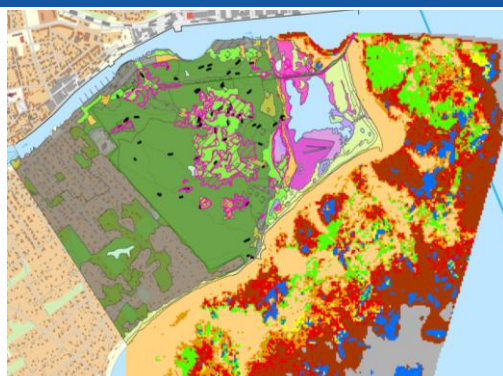


Statens geotekniska institut

Laserskanning och digitala flygbilder för miljöövervakning

Kustzonen - tillämpning i Åhus

**Bengt Rydell, Helle Skånes, Michael Tulldahl
och Sofia Wikström**



SGI Publikation 7

Hänvisa till detta dokument på följande sätt:
Rydell, B, Skånes, H, Tulldahl, M & Wikström, S
(2013). Laserskanning och digitala flygbilder för
miljöövervakning. Statens geotekniska institut, SGI.
Publikation 7, Linköping.

Diarienummer: 1-0902-0113

Uppdragsnummer: 13875

Beställning:

Statens geotekniska institut
Informationstjänsten
581 93 Linköping
Tel: 013-20 18 04
E-post: info@swedgeo.se

Ladda ner publikationen som PDF
www.swedgeo.se



Statens geotekniska institut

Laserskanning och digitala flygbilder för miljöövervakning

Kustzonen – tillämpning i Åhus

Bengt Rydell, Statens geotekniska institut
Helle Skånes, Stockholms universitet
Michael Tulldal, Totalförsvarets forskningsinstitut
Sofia Wikström, AquaBiota Water Research

SGI Publikation 7

Linköping 2013



EMMA – Environmental Mapping and Monitoring
with Airborne laser and digital images

Förord

Flygburen laserskanning och digital flygfotografering erbjuder nya typer av tredimensionella data. I denna rapport används begreppet laserskanning för mätning och data från akvatisk miljö (batymetri) och terrester miljö (topografi) med flygburen lasermätning. Hur dessa data kan användas för kartering och övervakning av vegetation, på land och på grunda havsbottnar, har studerats i Naturvårdsverkets forskningsprogram EMMA (Environmental Mapping and Monitoring with Airborne laser and digital images).

I EMMA deltar forskare från Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), Stockholms universitet, AquaBiota Water Research och Statens geotekniska institut (SGI).

Programmet har två inriktningar med en terrester del, som leds av SLU och en akvatisk del, som leds av FOI. I ett demonstrationsprojekt har gjorts en tillämpning för strandzonen inom ett område i Åhus i Kristianstads kommun. Syftet har varit att med stöd av batymetrisk och terrester laserskanning, samt digitala flygbilder ta fram en integrerad databas över kustzonen som beskriver såväl akvatiska som terrestra biotoper, som kan användas både för fysisk planering och naturvård.

Demonstrationsprojektet har genomförts av Helle Skånes, Stockholms universitet, Michael Tull-dahl, FOI, Sofia Wikström, AquaBiota Water Research, Bengt Rydell (projektledare). Linda Blied, SGI, har medverkat i analys av stranderosion och Ann-Helen Granholm, SLU med analys av kron-tak i den terrestra vegetationskarteringen. Jim Hedfors, SGI, har svarat för GIS-bearbetning och framställning av kartor.

Linköping och Stockholm i oktober 2013

Författarna

Innehållsförteckning

Förord.....	5
Sammanfattning	9
English summary	13
1 Bakgrund och syfte	15
1.1 Kunskap om kustområden.....	15
1.2 EMMA-programmet och tillämpningsprojektet i kustzonen	15
2 Kustområdet i Åhus.....	16
2.1 Översikt av akvatiska förhållanden.....	16
2.2 Översikt av terrestra och semiakvatiska förhållanden.....	18
3 Projektgenomförande	20
3.1 Laserskanning	20
3.2 Akvatiska undersökningar	22
3.3 Terrestra och kustnära undersökningar	29
3.4 Användargrupp	33
4 Kartläggning av akvatisk miljö	35
4.1 Automatisk klassificering av bottenotyp med laserdata och DMC-flygbilder.....	35
4.2 Avgränsning av naturtyper enligt Natura 2000	39
4.3 Diskussion	41
5 Beskrivning av kustnära terrester-akvatisk miljö	43
5.1 Visuellt tolkning och otydd klassificering av bottenkaraktärer i digitala IRF-flygbilder (DMC)	43
5.2 Visuellt tolkning av det lågupplösta laserpunktmolnet på land.....	46
5.3 Information om trädhöjd.....	52
5.4 Från vegetationskarta till komplex vegetationsdatabas	54
6 Beskrivning av erosionsförhållanden	56
6.1 Stranderosion längs Åhuskusten.....	56
6.2 Övervakning av stranderosion.....	57
6.3 Diskussion	68
7 Kustområdet ur ett samlat perspektiv.....	70
7.1 Integrerad redovisning av land och vatten	70
7.2 Användningsmöjligheter	72
7.3 Utvecklingspotential.....	73
Referenser.....	75
 Bilagor	
1. Klassificeringssystem för vegetation vid visuellt tolkning i IRF-flygbilder	77
2. Variabler som flygbildstolkats inför olika omklassificeringar.....	78
3. Deltagare på användarmöte i Åhus 10 september 2012	79

Sammanfattning

Bakgrund och syfte

I kustområden finns många intressenter och konflikter kan ofta uppkomma mellan bevarande av natur- och kulturmiljö och exploateringsintressen. Hänsyn måste tas till ett flertal riksintressen som gäller bland annat naturvård, kulturmiljövård, rörligt friluftsliv, naturreservat och Natura 2000-områden. Kunskap om förhållandena på land och i vatten behöver därför finnas för att ta fram ett beslutsunderlag för att kunna göra relevanta bedömningar och avvägningar mellan olika intressen. Detta är nödvändigt för centrala myndigheter, länsstyrelser och kommuner i frågor om bland annat miljöövervakning, fysisk planering och klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö.

I dag utförs kartering av land och vattenmiljöer oftast separat. Detta är inte ett framgångsrikt angreppssätt om man önskar studera kustzonen som en integrerad övergångszon mellan land och vatten. Ny teknik medger numera en integrerad kartering av strandzonen såväl på land som i vatten.

Demonstrationsprojektet Kustzonen – tillämpning i Åhus ingår som en del inom forskningsprogrammet EMMA. Studien avser en tillämpning för strandzonen och har genomförts för ett område i Åhus i Kristianstads kommun. Syftet är att illustrera hur batymetrisk laser, topografisk laser och flygbilder kan kombineras i övergången mellan land och vatten för att ta fram kartunderlag för kustzonsplanering. Syftet har också varit att ta fram en integrerad databas över kustzonen som beskriver såväl akvatiska som terrestra biotoper, tänkt att användas både för fysisk planering och naturvård. I studien ingår även beskrivning av vilka indikatorer/kriterier som behövs för att värdera förändringar av strandzonen för bedömning av erosionsförhållanden.

Kartläggning av akvatisk miljö

Kartläggningen av den akvatiska miljön baseras på automatisk klassificering av undervattensmiljön genom kombinerad användning av fältdata, laserdata och digitala flygbilder (DMC). Projektet visar att med en kombination av flygbilder och batymetrisk laserdata är det möjligt att ta fram en relativt säker klassning av grunda bottenar. Den framtagna bottenkartan visar grova bottenklasser (sand/hårdbotten och med/utan vegetation). Baserat på denna karta och den detaljerade batymetriska informationen var det också möjligt att avgränsa olika marina naturtyper inom Natura 2000-området.

Som ett komplement till denna klassificering gjordes även en ostyrd och manuellt bearbetad klassificering av bottenkaraktärer med enbart flygbilder. Med denna metod var det möjligt att klassificera mörka bottenar (hårdbotten och sand med vegetation) och ljusa bottenar (bar sand). Det gick således inte att skilja ut lika många bottenklasser som med kombinationen av laser och flygbilder, men den enklare klassningen med enbart flygbilder kunde användas för att fylla i hål i områden där laserdata saknades (exempelvis i strandlinjen). Den ostyrda och manuellt bearbetade klassningen av bottenkaraktärer är en enkel metod som kan fungera som stöd i fortsatt visuell och automatisk klassificering av bottenarter. Fördelen är att detaljeringsgraden i originalbilden bibehålls på ett helt annat sätt än i den visuella tolkningen av bottenkaraktärer. I den visuellt tolkade kartan är upplösningen betydligt sämre än i den automatiskt klassade.

Hårdbotten och vegetation kan indikera att bottenarna är relativt stabila, medan öppen sand i grunda områden kan indikera ett rörligt substrat som kan vara ett tecken på erosion. Genom att jämföra bottenklassningar från upprepade laserskanningar skulle man därför kunna identifiera stabila områden och områden där det sker stora förändringar.

Beskrivning av kustnära terrester miljö

Kartläggning av den kustnära miljön i Åhus utfördes med visuell klassificering av flygbilder samt visuell tolkning av bearbetningar av laserpunktmoln och lasergenererad terrängmodell från Nationella höjdmodellen.

Den stora fördelen med laserregistrerade landskapsdata är att de till stora delar kan penetrera träd-täckt mark och fånga upp information om markytan och strukturer samt ge information om vertikal skiktning i vegetation. Detta ger kompletterande information till en traditionell flygbildsbaserad vegetationskarta. Liggande träd och förekomst av buskar och låga träd samt vass kunde i viss utsträckning lokaliseras.

Kombinationen av krontaksmatchning mellan Lantmäteriets DMC-flygbilder och den nationella höjdmodellen ger viktig tilläggsinformation om vegetationens höjd över markytan och i detta projekt har en detaljerad bild av vegetationshöjden tagits fram.

Övervakning av stranderosion

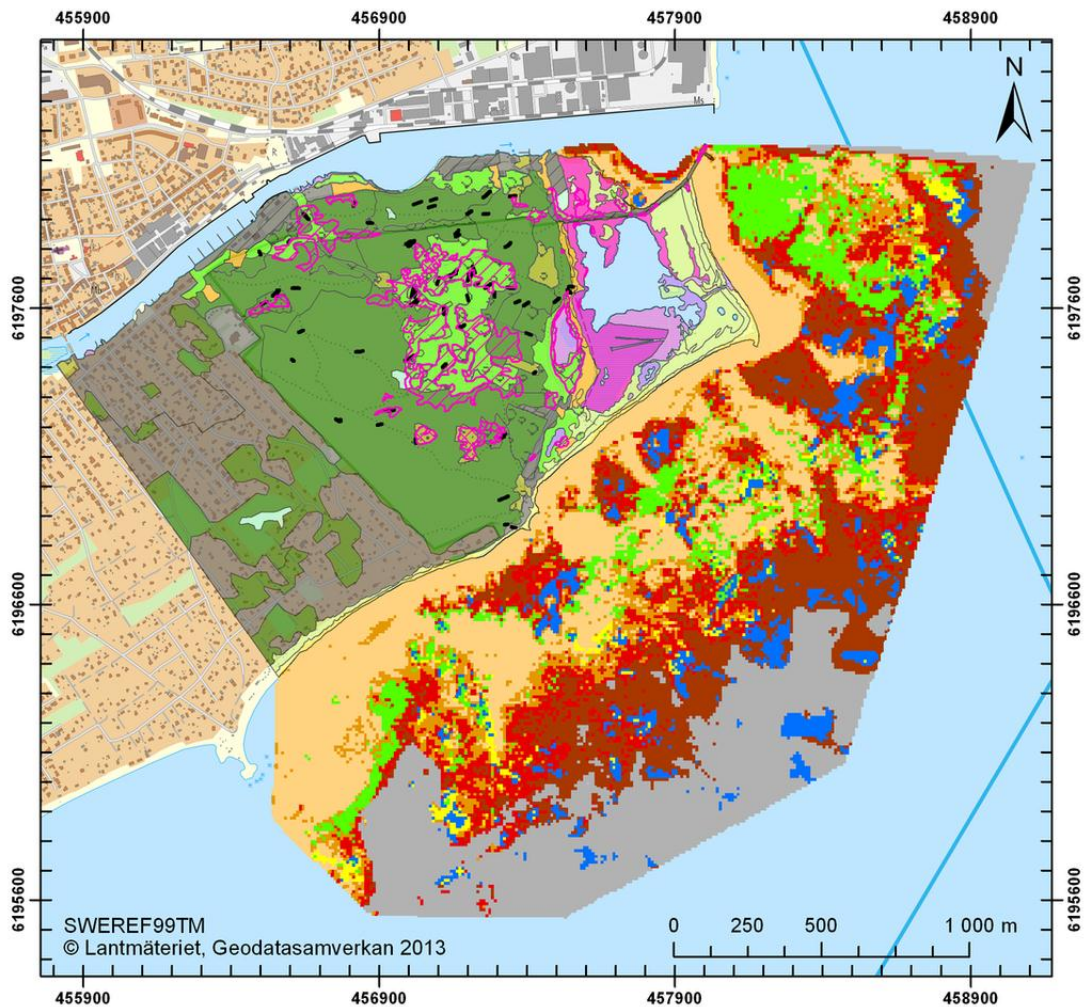
Resultatet visar att det finns förutsättningar att genom ett antal indikatorer översiktligt beskriva förändringar längs kustområden när det gäller erosion och sedimentation såväl på land som i vatten. Direkta indikatorer är t.ex. förändringar av batymetri, strandlinjer, dynbildningar och marknivåer på land samt mänskliga aktiviteter som muddring, stabilisering av stränder eller strandnära bebyggelse. Indirekta indikationer på erosionskänslighet är t.ex. förändringar i vegetationstäckning både på land och i vatten.

En intressant modell för övervakning av förändringar inom strandnära områden är ett system med kombination av olika typer av fjärranalys, där metoder väljs beroende på detaljeringsnivå och syfte. Fjärranalys med satellitbilder bedöms ha en stor potential för att kostnadseffektivt och snabbt översiktligt kunna studera förändringar och utvecklingstendenser av strandnära områden. Inom identifierade riskområden kan därefter mer detaljerad analys göras med laserskanning och digitala flygbilder.

Kustområdet ur ett samlat perspektiv

De framtagna kartorna kan användas som underlag för översiktiga bedömningar av exempelvis naturvärden och erosionskänslighet i områden med otillräckligt kunskapsläge. Den kan också vara ett underlag för att identifiera intressanta områden vid planering av fältundersökningar. Ett annat uppenbart värde är att man kan styra fältbesök på effektivaste sätt genom att först ta fram arealtäckande kartor och därefter besöka strategiska punkter.

Genom att lägga samman data från olika analyser av förhållanden på land och i vatten kan man få ett användbart verktyg för studier i strandnära områden. Ett exempel är en kombination av Lantmäteriets nationella höjdmodell med bottenmodellen framtagna från den batymetriska laserskanningen varigenom en detaljerad och integrerad djup- och höjdmodell kan upprättats. Med en sådan modell etablerad i GIS har man stora möjligheter att simulera graden av olika hot som t.ex. framtida översvämningar och erosion. En sådan modell krävs också för att man ska kunna göra ortofoton från digitala flygbilder som även omfattar bottenmiljön.



Figur S-1 Sammanlagd karta över kustzonen i Äspet i Åhus. Kartan illustrerar projektets överbyggande inriktning och utgör ett förslag till en framtida vegetationskarta som visar såväl terrester som akvatisk vegetation. Teckenförklaring finns i Figur 7-3.

Ett annat exempel är en karta med en kombination av den akvatiska bottenypsklassningen och vegetationskarteringen av terrester och semiakvatisk miljö som ger en integrerad vegetationsdatabas över land och vatten, se Figur S-1. Dagens vegetationskartor har i stort utelämnat vattenområden och först i och med Natura 2000 har man börjat kartera habitat både på land och i vatten i samma kartering. Med en integrerad ansats kan man använda olika data och komplettera de olika tolkningarna så att man kan få en integrerad bild av hela kustmiljön.

Den sammanlagda vegetationskartan visar också hur skillnaderna mellan land- och vattenmiljön påverkar hur många klasser som är möjliga att avgränsa med underlag från laserskanning och flygbilder. Vegetationsklasserna på land definieras i stor utsträckning av förekomst av träd samt trädslag och ålder, strukturer som är möjliga att kartera med fjärranalys. Akvatiska biotoper definieras istället av alger, växter och djur som till stor del är för små för att synas i flygbilder eller lasersignal. För avgränsning av flera naturvärden, exempelvis avgränsning av Natura 2000-naturtyper, kommer man dock långt med informationen om batymetri, dominerande botten substrat och om det finns vegetation eller inte.

Utvecklingspotential och användningsmöjligheter

Sammanfattningsvis visar denna utredning att den senaste utvecklingen inom laserskanning och digitala flygbilder ger nya möjligheter till en samlad och sömlös kartering av land- och vattenområden i strandnära områden. Genom att kombinera resultat från laserskanning och tolkning av flygbilder finns möjligheter att presentera information på ett antal kartor som kan användas för naturvård, fysisk planering och riskvärdering. Det finns också möjligheter till vidareutveckling av klassificeringsmetoder och att kombinera automatiska, semiautomatiska och manuella metoder där den tekniska utvecklingen inom fjärranalysområdet tas till vara.

English summary

Coastal areas are used for a wide range of activities and there are often conflicts of interest between conservation of nature and cultural values and exploitation. Efficient and sustainable management of these areas requires good background knowledge about the environment both above and below the water line. Reliable maps of the coastal zone are requested by local, regional and national authorities in order to meet their needs for planning, environmental monitoring and adaptation of build environment to climate change. Today, mapping of the aquatic and the terrestrial parts of the coastal zone have in most cases been carried out separately, which has limited the possibility to treat the coastal zone as an integrated transition zone between land and water. The recent development of new mapping techniques based on remote sensing opens a new possibility for an integrated mapping of the coastal zone, both above and below the water line.

The project presented in this report is a part of the research program EMMA (Environmental Mapping and Monitoring with airborne laser and digital images). The aim of the project was to illustrate how data from bathymetric and topographic laser scanning and from aerial imagery can be combined to produce seamless maps of the land-water interface and an integrated vegetation database that includes both the terrestrial and aquatic environments. Furthermore, the report describes how this data can be used to assess erosion and erosion risks in the coastal zone. The study was carried out in Åhus in southern Sweden.

Underwater habitats and vegetation

Mapping of the distribution of underwater habitats and vegetation was performed with automatic classification using laser bathymetry, digital aerial images and field data. This made it possible to map the distribution of the two main substrate types present in the area (hard substrate and sand) and to map the occurrence of vegetation on sand. Based on these maps and the detailed bathymetric data from the laser scanning, it was possible to map the occurrence of the Habitats Directive Annex II habitats Sublittoral sandbanks and Reefs.

In addition to the seabed classification using laser and image data, a manual and semi-automatic classification using only aerial images was performed. This allowed classification of the seabed into dark bottoms (representing hard substrate and sand with vegetation) and bright bottoms (representing bare sand). While this provided less detail compared to the classification including also the laser data, it could be used to fill in gaps in the laser-based classification in areas where laser data was lacking (e.g. in some areas along the shoreline). Classification based on aerial images alone can potentially also be used for analyses of temporal changes in the aquatic environment, provided that the images are corrected for water turbidity or by using separate classifications for each registration.

Terrestrial and semiaquatic vegetation

Mapping of terrestrial and semiaquatic vegetation was done with manual interpretation of aerial images, laser point data and a digital terrain model (DTM) based on topographic laser (the Swedish National terrain model). It was possible to map the occurrence of lying dead wood, shrubs and small trees under a closed canopy. This provides important additional information about vertical layers in the vegetation compared to vegetation maps based on only aerial images. In addition, it was possible to map the occurrence and distribution of reed in shallow water. Finally, by combining a tree canopy matching based on aerial images with the DTM, it was possible to derive a detailed map of vegetation height across the terrestrial vegetation types.

Combination of the aquatic and terrestrial vegetation data allowed us to compile an integrated vegetation database for the coastal area, with a seamless description of the vegetation above and

below the water line. This is of great value to get an overview picture of the coastal zone, that can be used for large-scale assessment of the distribution of biological values and sensitivity to erosion and to identify areas for more detailed field surveys.

In addition to the combined vegetation database, a DTM integrating land topography with underwater bathymetry was produced. This model can be used for risk assessment of wave impact and climate-driven sea level rise, in order to adapt existing and planned buildings and infrastructure. An integrated DTM is also required to orthorectify aerial images to include the submerged sea bed.

Erosion mapping

The study of erosion identified a number of direct and indirect indicators for erosion and sedimentation, both above and below the water line, which can be used to detect ongoing erosion processes and to establish a decision basis for mitigation measures. The indicators are based on aerial images, laser data or a combination of the two. Examples of direct indicators are changes in bathymetry, shore line and sand dunes and examples of indirect indicators are changes in vegetation cover both on land and in the water.

Seamless mapping of coastal zones

In conclusion, the recent technological development of laser and digital aerial imagery provide new opportunities for a seamless mapping of the coastal zone. The combined use of laser data and digital images in the study allowed collation of a number of maps and data sets that can be of great utility for conservation, spatial planning and risk assessment. There are also opportunities for further development of the classification methods, combining elements of manual, semi-automatic and automatic classification, in order to make full use of the technological advancements in this field.

1 Bakgrund och syfte

1.1 Kunskap om kustområden

Kustområden är övergångszoner där processer bestäms i samspel mellan land, hav och atmosfären. Detta innebär att kustområden är bland de mest dynamiska, snabbt föränderliga och sårbara miljöerna på jorden. De förväntade klimatförändringarna kommer att öka hoten mot kusterna till följd av förhöjda havsnivåer, ökad nederbörd och ytvattenavrinning. Detta innebär översvämning av låglänta områden, påverkan på vegetation och grundvatten, ökad erosion på stränder och strandnära områden och förändrade förutsättningar för flora och fauna. Processer i havet påverkar strandnära områden i stor utsträckning liksom de aktiviteter och förhållanden som förekommer i kustområden har stor inverkan på havsmiljön. Det är därför väsentligt att ta hänsyn till samspelet mellan hav och land.

I kustområden finns många intressenter med olika utgångspunkter och ofta kan intressekonflikter uppkomma mellan bevarande av natur- och kulturmiljö och exploateringsintressen. Hänsyn måste tas till ett flertal riksintressen som gäller bland annat naturvård, kulturmiljövård, rörligt friluftsliv, naturreservat och Natura 2000-områden. Kunskap om förhållandena på land och i vatten behöver därför finnas för att ta fram ett beslutsunderlag för att kunna göra relevanta bedömningar och avvägningar mellan olika intressen. Detta är nödvändigt för centrala myndigheter, länsstyrelser och kommuner i frågor om bland annat miljöövervakning, fysisk planering och klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö.

I dag utförs kartering av land och vattenmiljöer oftast separat, och ibland även med olika definitioner för t.ex. strandlinjen. Detta är inte ett framgångsrikt angreppssätt om man önskar studera kustzonen som en integrerad övergångszon mellan land och vatten. Ny teknik som flygburen laserskanning för batymetrisk mätning samt digitala flygbilder med god radiometrisk upplösning medger numera en integrerad kartering av strandzonen såväl på land som i vatten.

1.2 EMMA-programmet och tillämpningsprojektet i kustzonen

Forskningsprogrammet EMMA, som finansieras av Naturvårdsverket under 2009-2013, syftar till att utveckla halvautomatiska metoder för att använda laserskanning och digitala flygbilder för miljöövervakning och vegetationskartering, såväl på land som i havet.

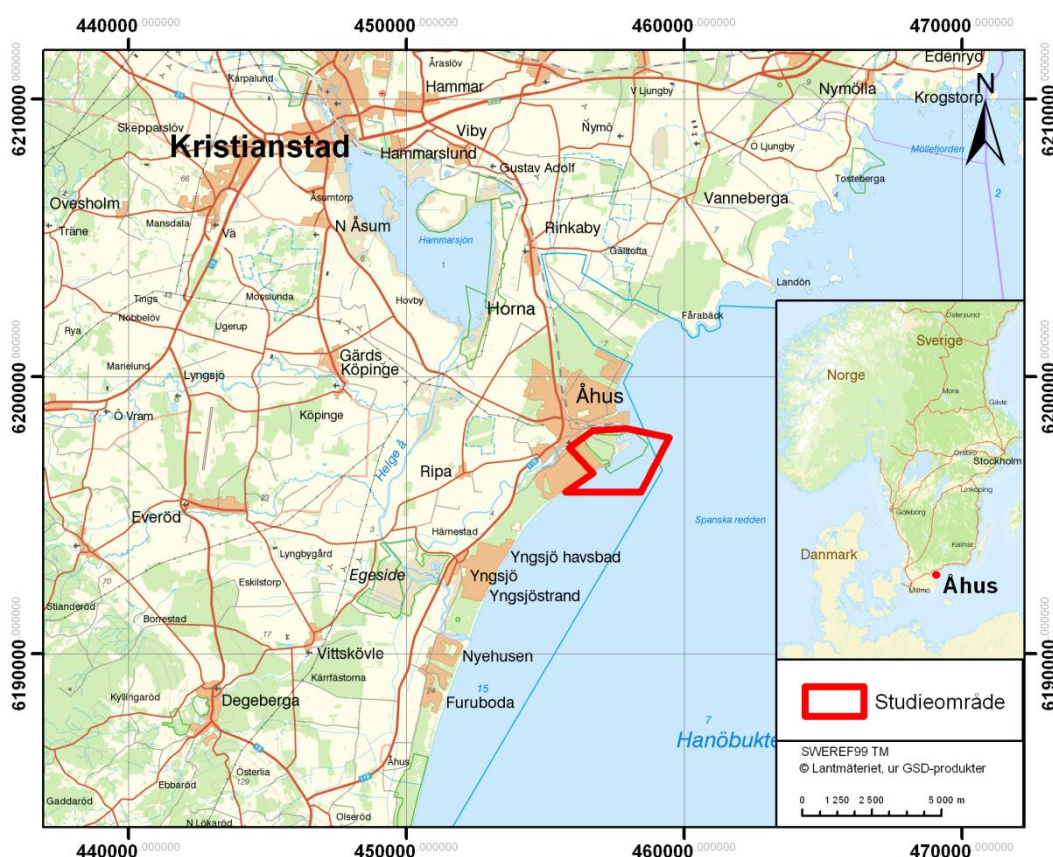
Programmet har två inriktningar: En terrester del, som leds av Sveriges lantbruksuniversitets fjärranalysavdelning och en akvatisk del, som leds av Totalförsvarets forskningsinstitut. För mer information om EMMA hänvisas till programmets webbplats <http://emma.slu.se>.

Demonstrationsprojektet Kustzonen – tillämpning i Åhus ingår som ett projekt inom EMMA. Studien avser en tillämpning för strandzonen och har genomförts för ett område i Åhus i Kristianstads kommun. Syftet är att illustrera hur batymetrisk laser, topografisk laser och flygbilder kan kombineras i övergången mellan land och vatten för att ta fram kartunderlag som kan användas för kustzonsplanering. Syftet har också varit att med stöd av batymetrisk och terrester laserskanning samt digitala flygbilder ta fram en integrerad databas över kustzonen som beskriver såväl akvatiska som terrestra biotoper, tänkt att användas både för fysisk planering och naturvård.

I studien ingår även beskrivning av vilka indikatorer/kriterier som behövs för att värdera förändringar av strandzonen. Utifrån användarbehov på lokal nivå studeras möjligheterna att använda vegetation på land och i vatten för bedömning av erosionsförhållanden.

2 Kustområdet i Åhus

Det studerade området Äspet i Åhus är den del av kuststräckan i Kristianstads kommun som sträcker sig från Fårabäck i norr till Juleboda i söder, se Figur 2-1. Den södra delen från Åhus till kommungränsen i söder utgörs av sandstränder med varierande bredd och dyner med varierande höjd från 2 m till ca 20 m. Den norra delen har lägre dyner och grundare vattenområden. Stora delar av Äspet är ett Natura 2000-område och är ett populärt fritidsområde. Området ligger i slättlandskap som vilar på lättvittrad sedimentär berggrund från Kritaperioden (146-65 miljoner år sedan).



Figur 2-1 Aktuellt studieområde. Underlagskarta: Tätortskartan (© Lantmäteriet).

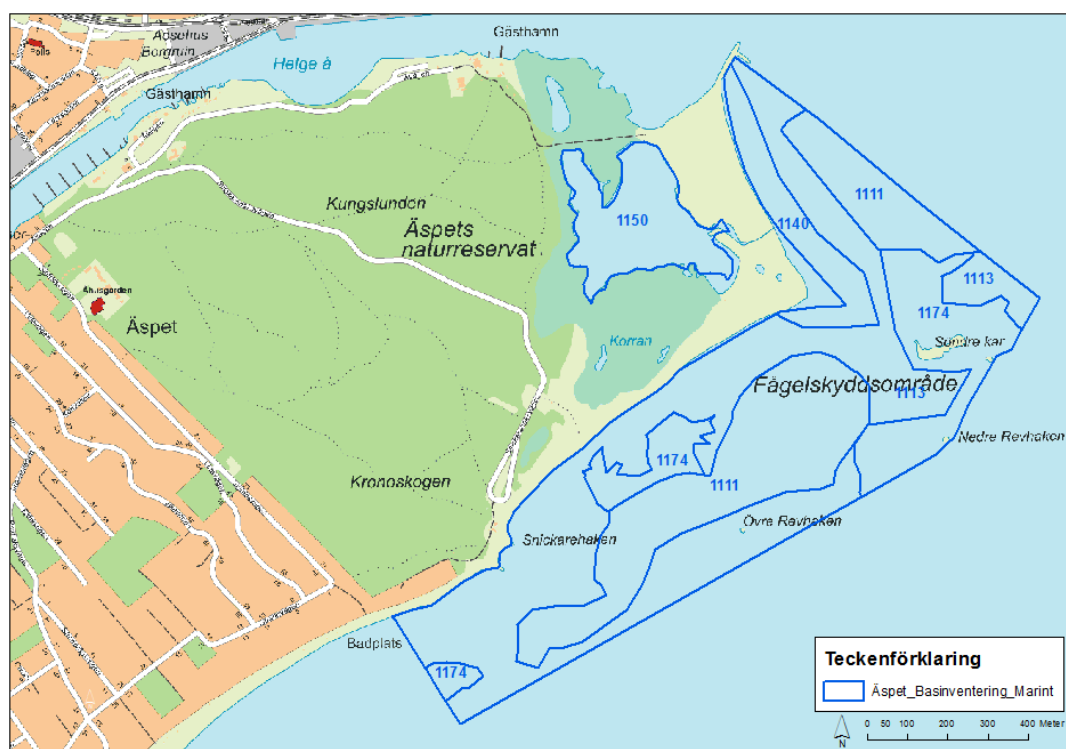
2.1 Översikt av akvatiska förhållanden

Undervattensnaturen i Äspet karaktäriseras av sandiga bottnar omväxlande med block och sten. Området ligger inom ett långgrunt kustavsnitt och skyddas delvis från öppna Östersjön av omfattande grundområden och öar ca 200-500 m från stranden, vilket gör att sanden är tillräckligt orörlig för att ålgräs (*Zostera marina*) och andra växter ska kunna etablera sig. Det finns således stora områden med delvis tät vegetation som domineras av ålgräs men även innefattar borstnate (*Potamogeton pectinatus*), natingar (*Ruppia* spp.), slingor (*Myriophyllum* spp.) och andra växtarter, omväxlande med kal sandbotten. Det är troligt att utbredningen av vegetationen är dynamisk över tid, kraftiga stormar kan slita loss växter eller begrava dem i sand medan under lugnare perioder tillåts vegetationen breda ut sig i nya områden. I hela området finns ett rikligt inslag av sten- och blockbotten med algvegetation, bland annat en rik förekomst av blåstång (*Fucus vesiculosus*).

Vattendjupet har bedömts utifrån batymetriska mätningar respektive topografiska kartan. Norr om Åhus hamn ökar djupet successivt från strandkanten till 7-8 m på 2 km avstånd från kusten. Från Östra Sand förbi hamnen och ned till Äspet är vattendjupet ca 3-4 m på ett avstånd av ungefär 150-250 m från strandlinjen. Söderut ökar vattendjupen snabbare och uppgår till 6 m på 200-300 m och till 15-20 m inom 1 km avstånd. Det innebär att högre vågor kan nå stranden i den södra delen med större vattendjup och därmed ge upphov till kraftigare påverkan på stränder och dyner.

Basinventeringen av Natura 2000-området Äspet har beskrivit fyra marina naturtyper i området (Figur 2-2). Siffran inom parentes hänvisar till respektive Natura 2000-kod:

- Sublittoral sandbankar (1110) med undergrupperna:
 - Utan vegetation (1113)
 - Med ålgräsängar och annan långskottsvegetation (1111)
- Ler- och sandbottnar som blottas vid lågvatten (1140)
- Laguner (1150)
- Rev - Geogent rev 0-30 meter (berg/blocks substrat) (1174)



Figur 2-2 De marina Natura 2000-naturtypernas utbredning enligt Natura 2000-basinventeringen. Underlagskarta: Tätortskartan (© Lantmäteriet).

2.2 Översikt av terrestra och semiakvatiska förhållanden

Äspet ligger i den södra lövskogsregionen med goda förutsättningar för ädellövskog. Klimatet är mildt med en årsmedeltemperatur kring 7-8° C och en vegetationsperiod som varar strax över 200 dagar per år. Årsnederbörden är för regionen förhållandevis låg och uppgår till 450-500 mm.

Söder om Åhus hamn finns naturreservatet tillika Natura 2000-området Äspet (SE 0420138), vilket övergår i ett sommarstugeområde i väster. Naturreservatet inrättades 1996. Sandkusten karakteriseras av sandstränder med dyner av vindtransporterad sand, som avsatts i stora flygsandfält. Bukterna tenderar att ha en orientering som är parallell med de infallande vågkrönens dominerande riktning. En stabil bukt, det vill säga där en jämvikt råder mellan till- och frånflöde av sediment, kännetecknas av att de infallande vågorna bryter samtidigt utmed hela bukten. Erosionsförhållandena i Åhus beskrivs närmare i Kapitel 6.

Jordlagren är mycket erosionsbenägna och erosion har också konstaterats på flera platser, se Figur 2-3. Erosionen sker dels kontinuerligt genom påverkan av vågor, dels genom att stora sammanhängande områden försvinner ut i havet vid högt vattenstånd och/eller i kombination med höga vågor. Den förstnämnda typen av erosion kan bedömas utifrån geologiska förhållanden, topografi och batymetri, bedömda framtida havsnivåer och vågexponering. Erosion till följd av exceptionella väderförhållanden kan uppträda lokalt och är svårare att bedöma både när det gäller på vilken plats och med vilken omfattning erosionen kan uppkomma.



Figur 2-3 Erosion av dyner vid Östra Sand, Åhus. Foto: SGU

I basinventeringen av Natura 2000-området Äspet har identifierats nio terrestra naturtyper (Figur 2-4). Siffran inom parentes hänvisar till respektive Natura 2000-kod:

- Annuell vegetation på driftvallar (1210)
- Embryonala vandrande sanddyner (2110)
- Vandrande sanddyner med sandrör, vita dyner (2120)
- Permanent sanddyner med örtvegetation, grå sanddyner (2130)
- Kustnära trädklädda sanddyner (2180)
- Näringsfattig bokskog (9110)
- Näringsrik bokskog (9130)
- Näringsrik ekskog eller ek-avenbokskog (9160)
- Näringsfattig ekskog (9190)



Figur 2-4 De terrestra Natura 2000-naturtypernas utbredning enligt Natura 2000-basinventeringen. Underlagskarta: Tätortskartan (© Lantmäteriet).

3 Projektgenomförande

3.1 Laserskanning

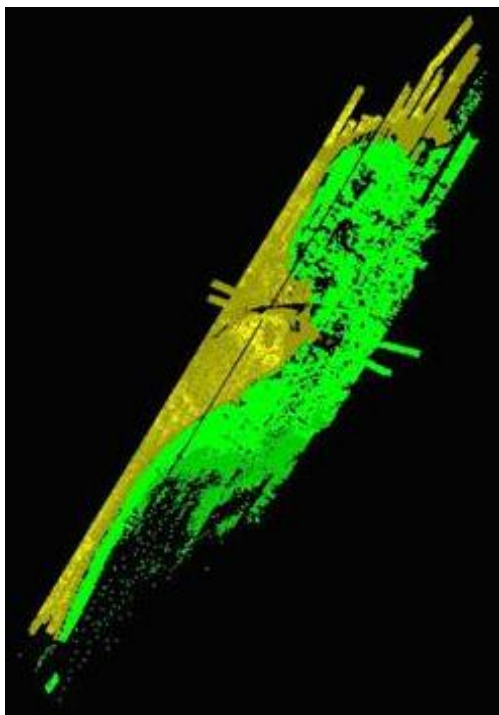
I denna rapport används begreppet **laserskanning** för mätning och data från akvatisk miljö (bathy-metri) och terrester miljö (topografi) med flygburen lasermätning. Ett annat begrepp som även används är Lidar-mätning (Light Detection and Ranging).

3.1.1 Batymetrisk och topografisk laserskanning utförd av AHAB

Laserskanning utfördes längs kusten vid Åhus den 1 april 2010 och omfattar en sträcka av ca 15 km från Landön i norr till Yngsjö i söder. Mätområdet uppgår till ca 3,5 km i bredd av vilket merparten är över vatten. Mätområdets omfattning framgår av Figur 3-1.

Mätningarna har utförts av Airborne Hydrography AB (AHAB). Ett antal testmätningar med ett nytt mätsystem genomfördes under våren 2010 och mätningarna i Åhus var en del av dessa tester. Kristianstad kommun har i samarbete med EMMA-programmet kunnat använda dessa mätdata liksom AHAB vid godkännandet av det nya mätsystemet.

Mätningarna utanför Åhus har utförts med mätsystemet HawkEye II monterat i ett tvåmotorigt civilregistrerat flygplan av typen Aero Commander 690 B. Flygplanet har vid mätningarna haft en hastighet av ca 200 km/tim och flyghöjden har varit ca 300 m över land och för flygstråk enbart över hav ca 400 m.



Figur 3-1 Område där laserskanning utförts för Åhus kustområde. Gul färg visar skannad markyta och grön färg skannade vattenområden. Svarta områden innebär att mätdata saknas (efter Airborne Hydrography AB).

Den första efterbehandlingen av data genomfördes direkt efter flygningen i LSS (Lidar Survey Studio) programvara för att kontrollera att alla mätdata fanns med. Därefter genomfördes en samkörning och kalibrering av mätdata för att slutligen genom en manuell filtrering säkerställa att data motsvarade uppställda krav.

Mätningarna är enligt AHAB utförda enligt de krav som ställs enligt IHO Order 1 standard (S44 4th edition, april 1988), vilket motsvarar:

Mätning i vatten

- Noggrannhet i djup: $\pm 0,5$ m (2τ)
- Noggrannhet i plan: 5 m (2τ)

Mätning på land

- Noggrannhet i höjd: $\pm 0,15$ m
- Noggrannhet i plan: $\pm 0,5$ m

Insamlat data processerades genom en vanlig metod som baseras på att djupet beräknas utifrån tidsskillnaden mellan ekot från vattenytan respektive botten. Resultatet blev att vissa stråk och områden uppvisade en låg mättäthet, främst i den norra delen.

AHAB utförde därför en kompletterande processering våren 2012. Denna processering använde en kompletterande algoritm som tar fram djupet baserat på avklingningen av reflekterad signal från vattenvolymen. Detta är användbart i områden med mörk botten i kombination med hög topografisk variation (t.ex. högväxande vegetation eller blockrik miljö) som gör att signalen från botteneko blir mycket svag och svår att detektera. Då kan man istället nyttja vattenvolymssignalen för att beräkna djupet. Principen är då att beräkna vattendjupen baserat på tidsskillnaden mellan vattenytteko och den punkt i laservågformen där vattenvolymseko har klingat av till noll.

Efter denna andra processering blev mättätheten bättre även om vissa luckor fortfarande kvarstod och artefakter uppstod där signalen reflekterades från såväl botten som från vegetationen.

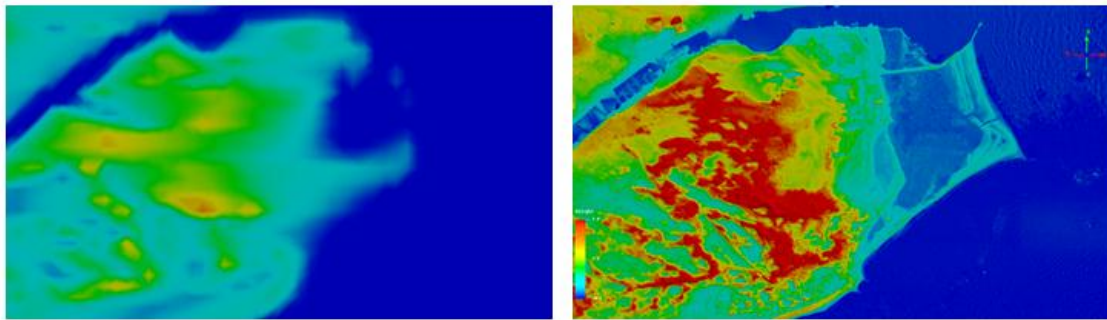
3.1.2 Kompletterande batymetrisk och topografisk laserskanning

Under december 2012 genomfördes en samordnad laserskanning av grunda vattenområden för hela Skånes kust, där respektive kommun var beställare av mätningar. Mätningarna genomfördes av AHAB, som dessutom utförde en kompletterande laserskanning av det terrestra strandområdet vid Äspet. Mätningarna utfördes enligt samma krav (IHO Order 1) som använts vid den tidigare mätningen enligt Avsnitt 3.1.1.

Dessa mätningar har emellertid inte använts vid utvärderingar i denna rapport.

3.1.3 Lantmäteriets laserskanning för den nya nationella höjddatabasen

Sedan 2009 arbetar Lantmäteriet på uppdrag av regeringen med att ta fram en ny nationell höjddatamodell med hög och känd kvalitet. Detta görs genom en laserskanning av hela landet. Ambitionen är att fram till 2015 framställa en rikstäckande höjddatamodell med ett medelfel i höjd som är bättre än 0,5 m för ett 2 m grid. I nuläget (hösten 2013) har i stort sett hela landet utom delar av fjällkedjan täckts (se aktuell information på www.geolex.lm.se). Denna höjddatamodell har en betydligt högre noggrannhet än den tidigare med 50 m upplösning (Lantmäteriets GSD-Höjddata, HDB 50), som tagits fram med stöd av topografisk kartläggning, (se Figur 3-2).



Figur 3-2 Skillnad i detaljeringsgrad mellan den äldre nationella höjdmodellen ovan t.v. (50 m grid) och den nya ovan t.h. (2 m grid) över Åhusområdet söder om hamnen. Notera hur väl man i den högra bilden kan se sanddynerna som till dominerande del täcks av skog. Man kan även i detalj studera låga dyner i öppna strandområden. Källa: Lantmäteriet.

Förutom den högre upplösningen har den nya höjdmodellen en mycket stor och viktig egenskap: den visar markytan även under skog. Detta är möjligt tack vare laserskanningens förmåga att till stora delar penetrera genom trädklädd miljö.

En annan mycket viktig del i den nya laserskanningen är att rådata, själva laserpunktmolnet, har sparats och kan användas som ett eget källmaterial. I denna studie har dessa två produkter, laserpunktmolnet och den nya höjdmodellen, använts i kombination genom olika filtreringar (Skånes et al., 2011a) för att titta på egenskaper i vegetationen under träden och nära markytan.

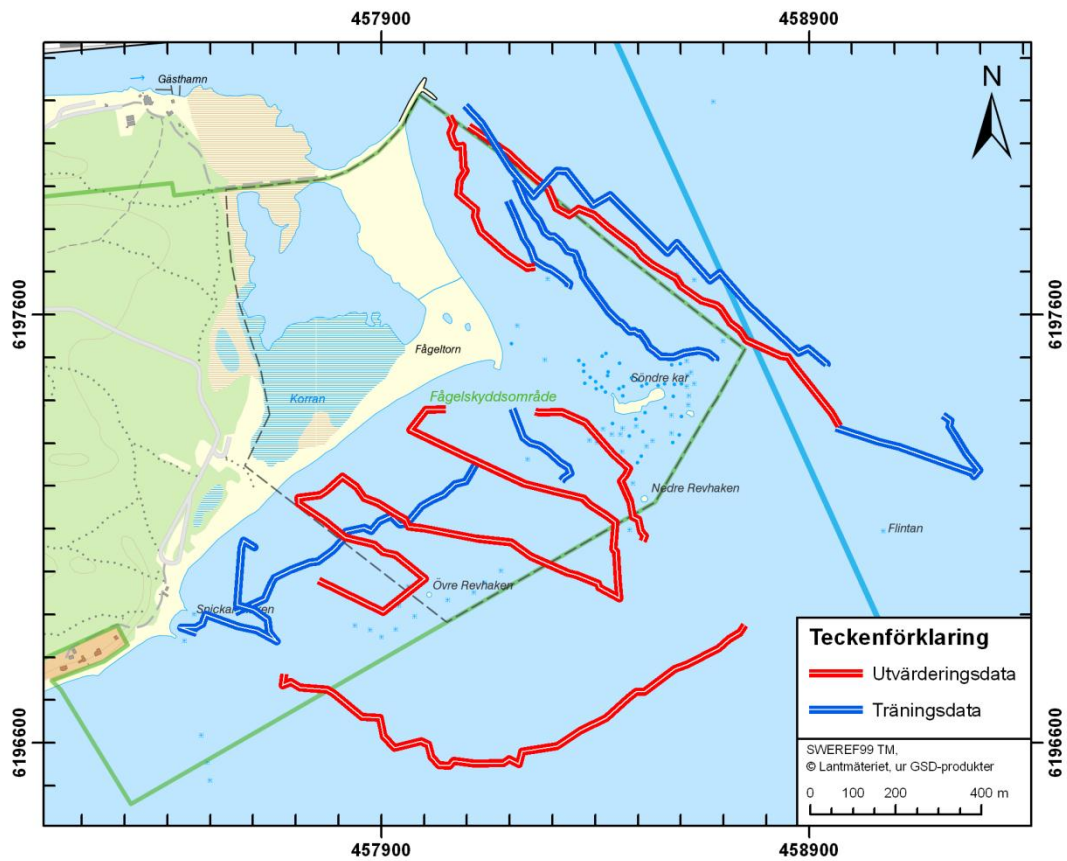
Ett problem är att denna registrering endast omfattar terrestra miljöer. Förhoppningen är dock att vi inom en snar framtid även kommer att få en lasergenererad nationell bottenmodell för våra kustvatten. I väntan på detta har vi inom EMMA:s kustprojekt sammanfogat AHAB:s bottenmodell med Lantmäteriets höjdmodell för att få en sammanhängande höjd/djupmodell över studieområdet.

3.2 Akvatiska undersökningar

3.2.1 Akvatiska fältundersökningar

Fältundersökningar av havsbotten genomfördes med släpvideo från båt den 27-28 april 2010. Botten filmades kontinuerligt längs nio transekter med ca 1 m bredd och en sammanlagd längd av omkring 10 km, se Figur 3-3. Transekterna lades ut för att täcka in så stor del som möjligt av Natura 2000-områdets undervattensdel samt området omedelbart utanför, men några områden kunde inte täckas eftersom de var för grunda eller för steniga att navigera i. Transekterna täcker in djupintervallet 0,5 till 8 m. Videodata tolkades i efterhand med avseende på täckningsgrad av bottenstrukturer (6 klasser: håll, block, sten, grus, sand och finsediment) samt växt- och makroalgsarter. Tolkningen gjordes kontinuerligt och varje gång täckningsgraden av substrat eller vegetation förändrades, noterades detta som ett nytt Avsnitt av inventeringen. Totalt beskrevs 6490 sådana transekter.

I anslutning till lasermätningen (2 dygn därefter) mättes vattnets optiska egenskaper (dämpnings- och bakåtspridningskoefficient). Dessa data kan användas för att göra lokala korrekationer av de variabler som extraheras från laserdata. Lokala korrekationer har inte tillämpats i denna studie eftersom vattenförhållandena vid mätningen inte påvisade stora variationer, förutom vid och i inloppet till Åhus hamn.



Figur 3-3 Släpvideotranssekterna som användes som underlag för klassificering av bottenotyp. Underlagskarta: Tätortskartan (© Lantmäteriet).

3.2.2 Automatisk klassificering av bottenotyp baserad på laserdata, DMC-flygbilder och fältdata

Tidigare studier, både från Östersjön och från andra havsområden, har visat att laserskanning kan användas för att kartlägga utbredningen av vegetation på sandbotten och grova kategorier av botten substrat (t.ex. Tulldahl et al., 2007; Wang & Philpot, 2007; Tulldahl et al., 2008; Chust et al., 2010, Tulldahl & Wikström, 2012). Laserskanning ger information till ett djup motsvarande 2-3 gånger siktdjupet, vilket gör att metoden går att använda i betydligt djupare områden än passiva fjärranalysmetoder (flyg- och satellitbilder). Laser anges av Havs- och vattenmyndigheten som en möjlig metod för att kartlägga utbredningen av naturtyperna Rev och Sublittorala sandbankar (med dess deltyper) i grunda områden, samt för att kartlägga arealen av ålgräsängar och annan långskottsvegetation som föreslås som målindikator för struktur och funktion på grunda mjukbottnar i skyddade marina miljöer (Havs- och vattenmyndigheten, 2012). Den batymetriska informationen från laser lämpar sig också väl för att hitta trösklar i naturtypen Laguner och kan därmed användas för att kartlägga denna naturtyp (Wikström & Tulldahl, 2010).

I denna studie har automatisk klassificering av undervattensmiljön genomförts genom kombinerad användning av laserdata från april 2010 och IRF-flygbild från Lantmäteriets DMC-kamera från 22 juni 2010. Klassificeringsmodellen har tränats baserat på en del av de akvatiska fältdata (hälften av data) och noggrannheten i klassificering har utvärderats på resten av fältdata (andra hälften).

Förutom djupinformation kan laserdata ge en uppfattning om bottenens detaljerade struktur, exempelvis lutning och småskalig topografi. Genom att analysera vågformen hos laserpulsen som reflekteras från botten kan man även få ut information om hur slät botten är (bottenekots bredd) och om botten är ljus eller mörk (bottenekots styrka). Både bottenens detaljerade struktur och reflektans (ljus/mörk) kan förväntas säga mycket om vad som finns på botten. Exempelvis är sedimentbottnar ofta släta och plana eller bara svagt sluttande, medan håll- och blockbottnar bildar en småskalig topografi. Högväxande vegetation kan skapa en komplex bottenstruktur, om en del av laserpulserna reflekteras mot vegetationen istället för mot botten. Mörk vegetation kan också avvika från en ljus sedimentyta.

Genom att komplettera laserdata med de nya digitala flygbilderna från DMC-kameran är det möjligt få ytterligare information. DMC-bilderna bidrar med information om substratens/vegetationens reflektans. Detta bidrag är viktigt ur två perspektiv. Dels ger flygbilderna vanligen ett robustare mått på substratens/vegetationens reflektans jämfört med reflektansskattning från laserdata som ofta är något brusigare. Dels ger flygbilderna färginformation (i detta fall reflektansskattning vid rött och grönt band), medan laserdata enbart ger reflektansskattning vid laservåglängden (grönt, 532 nm).

Gemensamt för reflektansskattning både från laser och flygbilder är att rådata (intensiteten i pixlarna) varierar med botten djup och att klassificeringen bör ta hänsyn till denna variation.

Förbearbetning av laserdata, flygbilder och fältdata

Laserdata har förprocesserats dels på punktnivå (djupdata) och dels på vågformsnivå. På punktnivå har bottenlutning och botten djupets standardavvikelse skattats inom en radie på 3 m respektive 5 m från varje laserpunkt. Ur vågformen hos den reflekterade laserpulsen har bottenekots karaktistik (ekostyrka och pulsbredd) extraherats och korregerats. Ekostyrkan användes dock inte i den slutgiltiga klassificeringen av bottenotyp av två skäl. Dels visade inledande klassificeringsprov att ekostyrkan inte bidrog till förbättrad klassificering. Dels gjorde det faktum att DMC-flygbild med hög kvalitet fanns tillgänglig över området att reflektansinformation (ljus/mörk/färg) bättre kunde fås från flygbilden. Med "hög kvalitet" i flygbilden avses här små eller inga vågreflexer (solglitter)

samt att kontraster går att urskilja mellan ljusa och mörka bottenpartier över de områden som ska klassificeras. På djup större än 7-8 m är informationen i flygbilden dock mycket begränsad. I detta projekt klassificerades botten typ till 7 m djup. För större djup gjordes inte någon klassificering eftersom flygbildens djupräckvidd begränsade möjligheterna att kontrollera positionsnoggrannheten gentemot fältdata. Det är dock värt att påpeka att en grov klassificering som enbart baseras på fältdata och laserdata är möjlig att åstadkomma ned till laserns djupräckvidd (ca 12 m för detta område).

DMC-flygbilden har georektifierats manuellt genom inpassning av ett antal punkter gentemot laserdata längs strandlinjen och i vattenområdet. Den uppskattade noggrannheten i denna rektifiering är 1,8 DMC-pixlar, vilket innebär en maximal horisontell skillnad på ca en meter mellan laserdata och DMC-data. Användning av DMC-data har sedan gjorts med samma horisontella upplösning som laserpunktdata. För varje laserpunkt har DMC-data extraherats ur DMC-bilden för vidare användning vid klassificering. Exempel på DMC-data, röd och grön kanal, visas i Figur 3-4.



Figur 3-4 Exempel på intensitet från Lantmäteriets flygbild (DMC rött och grönt band).

Fältdata förbearbetades genom att manuellt inspektera fältdatapositioner plottade på dels laserdata och dels på flygbildsdata. GPS-positionering användes vid fältdatainsamlingen och positionsosäkerheten i dessa data uppskattas till 5 m. Vid den manuella inspektionen togs fältdatasektioner bort om de låg nära (< 5 m) gräns mellan olika miljöer eller om bottenmiljön var mosaikartad med blandade små ytor av tydligt olika miljöer. Detta gjordes för att minska effekter av felträning av klasserna på grund av positionsosäkerhet mellan fältdata, laser- och flygbildsdata.

Klassificering av bottenotyp

Klassificeringen av bottenotyp genomfördes med Maximum Likelihood klassificering (ML). I ett första steg modellerades multivariata normalfördelningar (MVN-fördelningar) för varje bottenotypsklass baserat på fältdata. Klassificering av varje laserpunkt på kartan genomfördes sedan genom att välja den klass vars variabelvärden överensstämde bäst med laserpunkten.

Undervattensmiljön klassificerades i fyra botten typer (Tabell 3-1). Indelningen baseras dels på vad som kan förväntas vara möjligt att kartera med laserskanning, dels på vad som är intressant ur ett karterings- och förvaltningsperspektiv. Uppdelningen mellan Sand och Hårdbotten (häll, block och sten) är grundläggande för att beskriva marina biotoper, eftersom de utgör livsmiljö för helt olika arter. Hög vegetation, dvs. ålgräsängar och annan långskottsvegetation, är utpekade som prioriterade biotoper för bevarande eftersom de utgör en viktig livsmiljö för många andra arter. Utbredningen av Lösa alger kan vara en indikator på närsaltsbelastning, men i öppna kustområden som i Åhus är det troligt att utbredningen varierar avsevärt över tid och styrs av vågor och vattenströmmar. Den viktigaste anledningen att ta med lösa alger som en egen klass var att i möjlig mån undvika sammanblandning med de andra klasserna vid träning av klassificeringen och utvärdering av dess noggrannhet. En detaljerad undersökning av om lös vegetation blandas ihop andra klasser var inte möjlig eftersom de lösa algerna kan ha flyttat sig mellan tidpunkterna för fältdatinsamling, lasermätning och flygbildstagnation.

I Tabell 3-1 visas också generalisering där de fyra klasserna grupperats till två (Sand, Hårdbotten) respektive tre klasser (Hög Vegetation, Sand, Hårdbotten).

Tabell 3-1 Beskrivning av klasserna som definierats för den akvatiska miljön. Kolumn 1: Definition av klasserna enligt täckning (%) av substrat och vegetation i fältdataprotokollet. Kolumn 2: De fyra grundklasser som användes vid klassificeringen. Kolumn 3: Generalisering till substratklasserna Hårdbotten och Sand. Kolumn 4: Generalisering till Hårdbotten, Sand samt Hög vegetation.

BOTTENTYP Täckning substrat, vegetation (från fältdata)	Klass	Substratklass	Substratklass inkl. hög vegetation
Sand >= 90 % <i>Zostera marina</i> , <i>Potamogeton pectinatus</i> / <i>Zannichellia palustris</i> / <i>Ruppia</i> sp. >= 90 %	Hög Vegetation	Sand	Hög Vegetation
Sand >= 90 % Kal botten >=90 %	Bar Sand		Sand
Sand >=90 % Lösa alger >=50 %	Lösa alger		
Häll, block/sten >= 90 %	Hårdbotten	Hårdbotten	Hårdbotten

Variablerna som användes för klassificeringen av bottenotyp togs fram från fyra olika datakällor (Tabell 3-2). De variabler som togs fram direkt från laserdata beräknades dels från "punktmolnet" (bottenlutning och djupets standardavvikelse), dels från bottenekot i laservågformen. Klassificeringsvariabeln djup togs inte direkt från laserdata utan istället från en markmodell baserad på punkter där laserdjupdata fanns tillgängliga. Skälet till detta var att djupdata från laserskanning saknades i delar av området (även efter den andra djupdataprocesseringen våren 2012); en jämförelse mellan täckning av laserdata och markmodellen visas i Figur 3-5. Markmodellen tillsammans med flyg-

bildsdata gjorde att en heltäckande klassningskarta kunde skapas trots att delar av området saknade laserdata. För punkter där inget djup var tillgängligt användes enbart markmodellen (djup) och variablerna från flygbilden. I större delen av området var dock laserdata tillgängligt och på dessa platser användes alla fyra källorna som underlag för klassningen.

Tabell 3-2 Variabler som använts vid klassificering av den akvatiska miljön.

Datakälla	Klassificeringsvariabler
Markmodell (bottenmodell)	Djup
Laserdjup ("punktmoln")	Bottenlutning* Standardavvikelse **
Laservågform	Bottenekots pulsbredd #
DMC-flygbild	Röd kanal Grön kanal

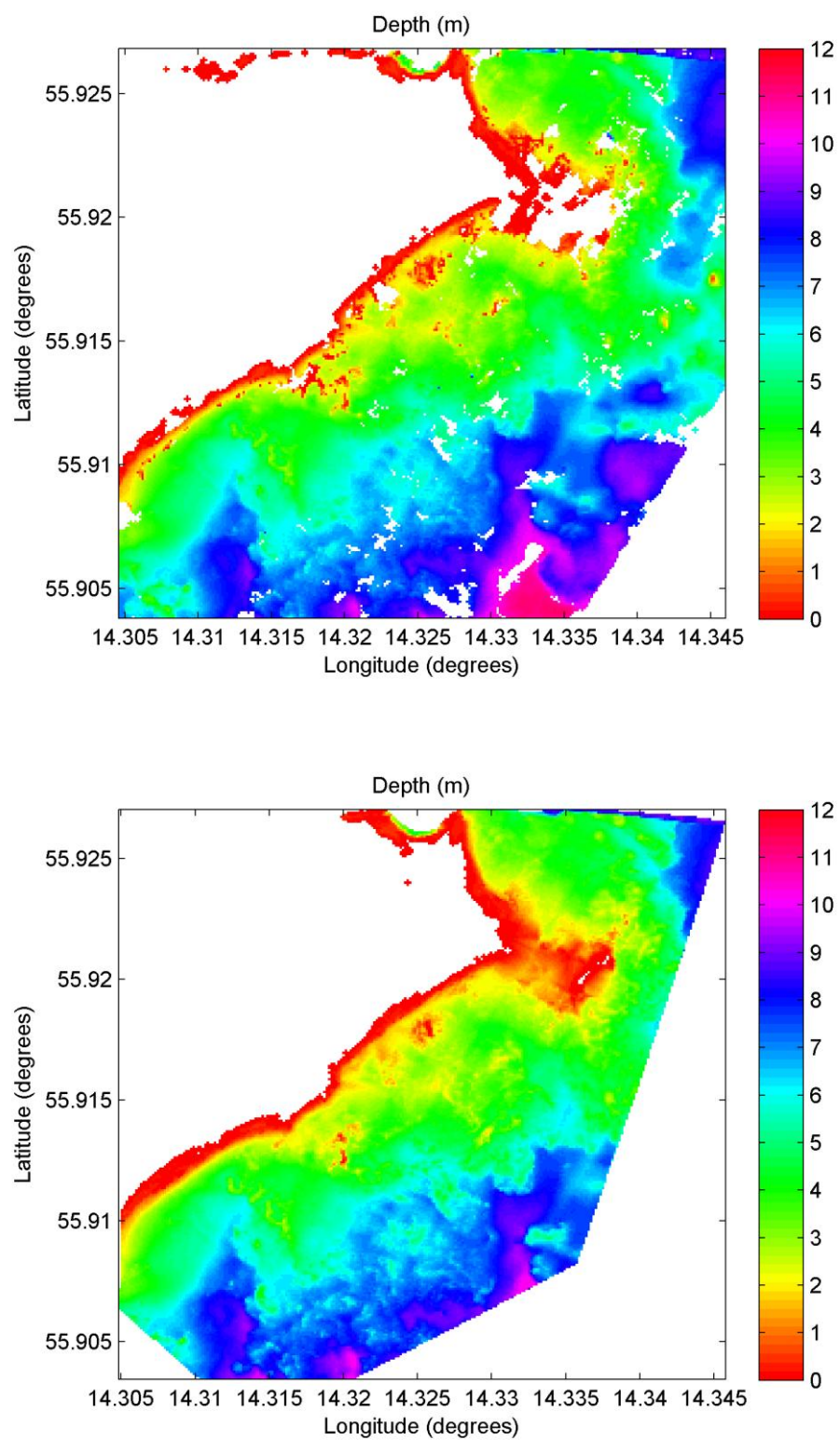
* Inom 3 m radie från aktuell laserpunkt

** Inom 5 m radie från aktuell laserpunkt

Pulsbredd vid 20 % av bottenekots höjd. Korrigerat för djup, vattenkvalitet, bottenlutning och lasersystemets parametrar som flyghöjd och infallsvinkel.

Två djupintervall valdes för att bättre hantera djupvariationen hos DMC-data. Djupvariationen hanteras relativt väl av MVN-fördelningen genom att samvariationen mellan djup och DMC-data beskrivs av denna fördelning. Denna samvariation är dock inte linjär (intensiteten avtar exponentiellt med djupet), varför indelning av data i två (eller flera) djupintervall förbättrar klassificeringsmodellens precision jämfört med om klassen beskrivs med enbart en MVN-fördelning. Ett annat sätt att hantera variationen med djup i DMC-data är att korrigera intensiteten för djup innan den används för klassificering. Denna metod har dock inte använts i detta projekt.

Varje laserpunkt klassificerades till någon av de fyra klasserna enligt Tabell 3-1. Baserat på klassificering av varje laserpunkt griddades data på en 10 meters grid. Inom varje gridruta beräknades täckning av hårbotten, mjukbotten och högväxande vegetation, baserat på antalet punkter för respektive klass inom gridrutan. Exempelvis beräknades täckningen av Bar sand i en ruta enligt $100 \cdot (\text{antal punkter BarSand}) / (\text{totalt antal punkter})$ i rutan.

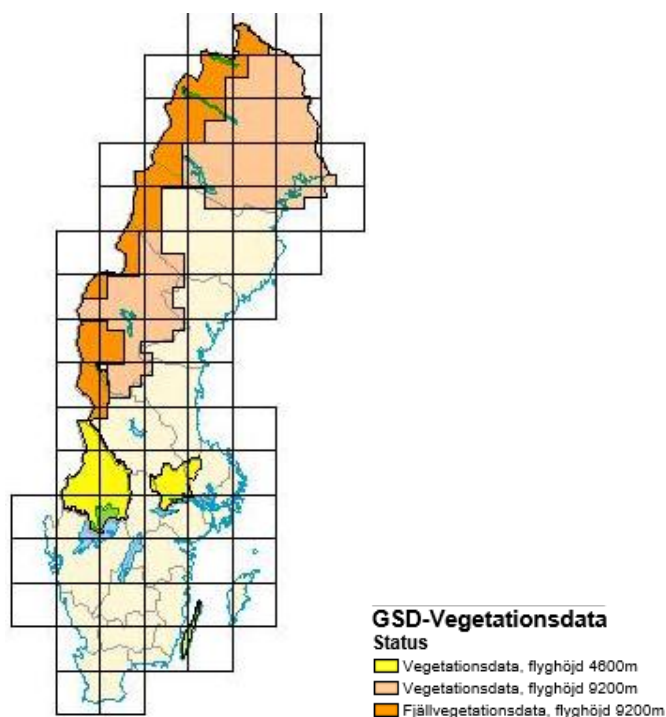


Figur 3-5 Djup från laserdata (ovan) och heltäckande markmodell framtagen från laserdata (nedan).

3.3 Terrestra och kustnära undersökningar

3.3.1 Traditionell vegetationskartering i IRF DMC flygbilder

Befintliga vegetationskartor baserade på flygbildsteknik täcker drygt 40 % av Sverige (se Figur 3-6). Den nationella vegetationskarteringen är sedan ett antal år stoppad. Dessa kartor är emellertid ofta äldre eller har ett klassificeringssystem som inte alltid överensstämmer med naturvårdens behov och krav idag. Just över Äspet saknas en sådan detaljerad karta varför en traditionell vegetationskartering utfördes inom detta projekt. Karteringen utfördes i IRF-flygbilder från Lantmäteriets DMC-kamera, fotograferade 2010-06-22 från 4 800 m flyghöjd, vilket ger 0,48 m upplösning i bilderna. För den visuella flygbildstolkningen har använts fotogrammetriskt orienterade stereobilder i Stereo Analyst for Erdas Imagine 2011 (ERDAS). Under arbetets senare del har tolkning även skett i Summit Evolution 6.7 (DAT/EM). Vidare bearbetning av tolkade data är gjord i ArcGIS 10.0.



Figur 3-6 Översikt över områden i Sverige som täcks av detaljerade vegetationskartor som förvaltas av Lantmäteriet (GSD-Vegetationsdata) Figuren är hämtad från Lantmäteriets e-tjänst www.geolex.lm.se, där man också kan söka förekomst och täckningsgrad av andra produkter som flygbilder och laserdata.

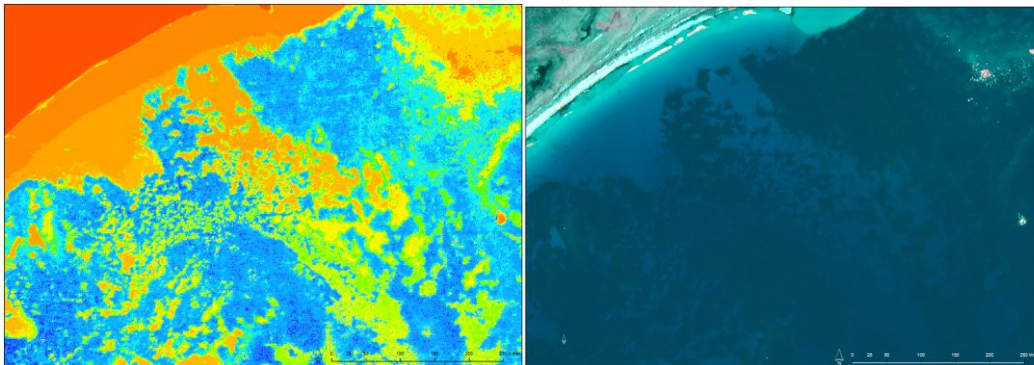
Det klassificeringssystem som användes är en förenklad och modifierad indelning baserad på NILS (Nationell Inventering av Landskapet i Sverige) huvudkategorier och ett urval av Svenska CO-RINE:s marktäckeklasser (SMD) terrester, semiakvatisk och urban (Bilaga 1). Dessa finindelas med utgångspunkt från en rad variabler med ytterligare tillägg anpassat för EMMA, t.ex. grönstruktur i urban mark, relativ ålder i skog och fuktighetstyp (Bilaga 2). Denna typ av variabelbaserad kartering, där antalet polygonavgränsande klasser är betydligt lägre än antalet polygonavgränsande attribut ger som resultat en geodatabas snarare än en tryckbar karta. Dessa karteringar utgör ett gott underlag för fortsatta rumsliga analyser och modelleringar av vegetationen och landskapets utveckling och status.

Denna metodik är väl beprövad (Ihse, 1995, Allard & Skånes, 2010) och har använts i en rad karterings- och övervakningsprojekt, t.ex. NILS (Allard et al., 2007, Skånes et al., 2011b), Natura 2000-basininventering (Skånes et al., 2007) och MOTH (opublicerat). Problemet är dock att dessa metoder inte är tidseffektiva och att många variabler som är av stor betydelse för dagens naturvård är svåra att systematiskt kartera med traditionell metodik (Marklund et al., 2007). Å andra sidan finns det idag inga färdiga automatiska metoder som ersätter manuell tolkning. Utvecklingsarbete inom detta område pågår, t.ex. inom EMMA och NILS med avsikt att förbättra metodiken med tillägg från olika metoder baserade på t.ex. laserdata och digitala flygbilder. Exempel på sådana variabler är fuktighet (genom topographic wetness index), krontäckning, vertikal skiktning (Lindberg et al., 2012) och förekomst av död ved.

3.3.2 Visuell tolkning och ostyrd klassificering av digitala flygbilder i kustnära akvatisk miljö

Vid den visuella flygbildstolkningen av den terrestra vegetationen noterades att man i de nya digitala DMC-bilderna, under gynnsamma förhållanden (klart vatten utan solreflexer, vågor eller for-sar), kunde se flera meter ner under vattenytan. Detta har traditionellt varit omöjligt i de analoga IRF-flygbilderna där även grunda vatten avbildats i svart. En visuell tolkning gjordes därför av ljusa respektive mörka bottenar. Då dessa förhållanden delvis är mycket småskaliga lades till en blandad mosaikklass. Detta är emellertid inte ett effektivt arbetssätt.

För att på ett mer effektivt sätt utnyttja den detaljerade färginformationen på bottenar under vatten i IRF-flygbilderna genomfördes därför en ostyrd klassificering (unsupervised ISO) i Erdas Imagine 2011. Klassningen gjordes så att datorn plockade ut ett större antal spektralt liknande klasser som sedan klassades om genom visuell bedömning till två huvudklasser, ljus respektive mörk botten. På grund av att vattnet vid ökande djup ger samma botten typ olika nyanser så var den visuella bedömningen nödvändig för att få fram ljusa bottenar vid olika djup, se Figur 3-7.



Figur 3-7 Utsnitt ur den ISO-klassade flygbilden där varje färg motsvarar en egen klass. I bilden syns en bandning ut från stranden i olika orange och gula nyanser (t.v.). Dessa klasser utgörs samtliga av ljusa bottenar men på olika vattendjup som ger dem en avvikande färg i flygbilden (t.h.).

3.3.3 Digital krontaksmodell

Tekniken att framställa krontaksmodeller, ett skikt som visar vegetationens höjd över markmodellen är uppdelad i flera steg (Figur 3-8).

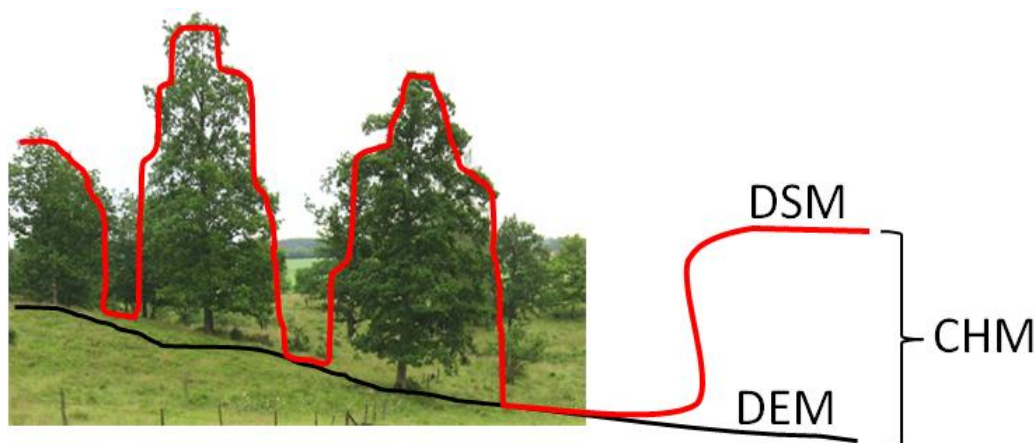
Först skapas en ytmodell (Digital surface model, DSM) som visar höjden över havet i vegetationens överyta (dvs. i krontaket). Detta utfördes i Lantmäteriets programvara MATCH-T DSM, ver-

sion 5.2 (INPHO, 2009) som matchar flygbilder med stereoöverlapp på normalt 60 % och producerar ett punktmoln som filtreras innan de används för att interpolera en ytmodell (Lemaire, 2008).

Nästa steg är att det krävs en markmodell (Digital elevation model, DEM) som visar höjden över havet under vegetationen, dvs. själva markytan. I denna studie användes den nya nationella höjddatabasen med hög upplösning (2 m).

Slutligen framställs själva krontaksmodellen (Canopy height model, CHM) genom att helt enkelt subtrahera markmodellen från ytmodellen, alltså normalisera ytmodellen så att den inte längre visar höjd över havet utan bara visar den relativa höjden över markmodellen (Figur 3-8). Notera att laserskotten inte kan penetrera genom objekt som sticker upp från markytan, t.ex. byggnader och extremt tät vegetation, kommer att ingå i markmodellen och därför inte visa någon höjd.

Modellen har dock inte verifierats och det är tämligen svårt att göra detta då trädhöjder är tidsödande att mäta i fält och ibland rent omöjligt från marken i tät skog. Enda effektiva sättet är att skatta trädhöjd i stereobilder, men här finns problem då just denna bedömning är så osäker. Det bedöms dock inte vara något större problem då automatiska mätningar kommer att vara betydligt effektivare än visuell tolkning och mätning i fält när det gäller arealberäkningar.



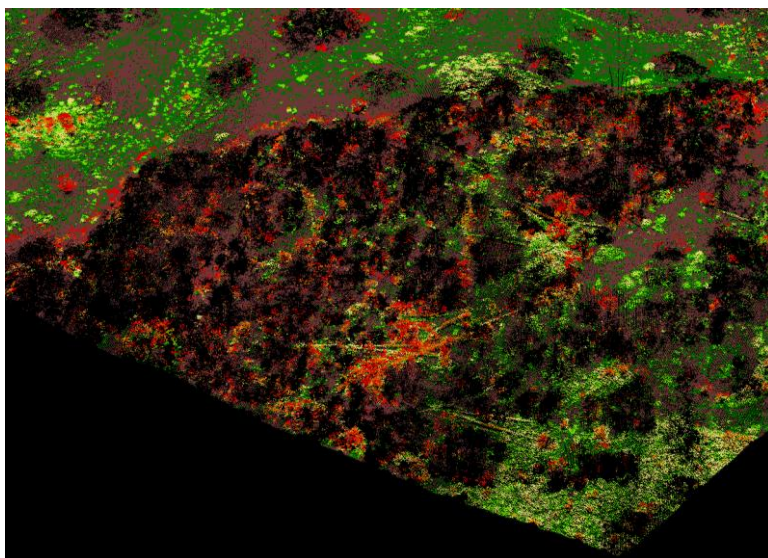
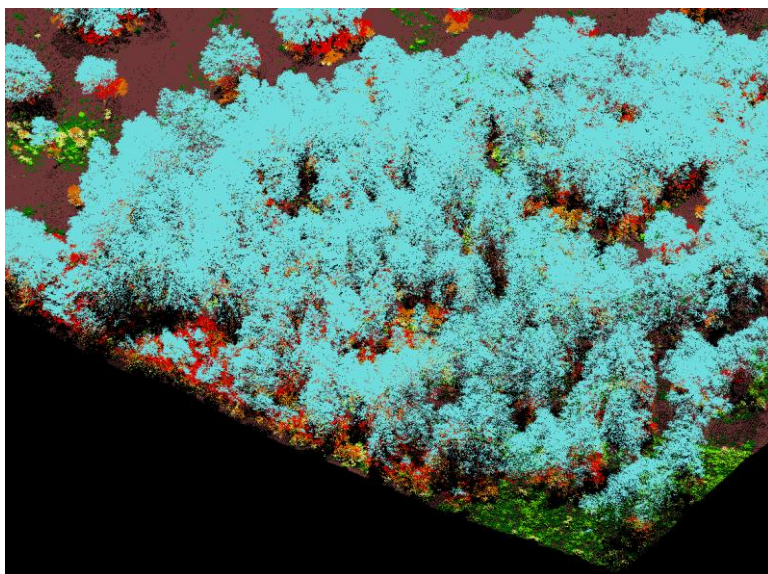
Figur 3-8 Principen för framställande av krontaksmodellen (CHM). Modellen utgör en subtraktion av markmodellen (DEM) från ytmodellen (DSM) och anger vegetationens normaliserade höjd över markytan (bearbetad från Nilsson & Granholm, opublicerad).

3.3.4 Visuell tolkning av laserpunktmolnet

Det källmaterial som har använts är laserdata från Lantmäteriets nya nationella höjddata (både terrängmodell och punktmoln). Bearbetning av laserpunktmolnet samt visuell tolkning har utförts i Quick Terrain Modeler 7.1.7 (Applied Imagery) enligt utarbetad procedur inom projektet EMMA T1 (Skånes et al., 2011a). Under projektets slutfas fanns även tillgång till nyregistrerade terrestra laserdata över området. Analyser av dessa data ingår dock inte i denna rapport.

Före visuell tolkning av laserpunktmolnet behöver vissa förberedande bearbetningar göras för att optimera tolkningsbarheten. Punktmolnet normaliseras över en terrängmodell för att ta fram punktens höjd ovanför markytan. Därefter filtreras data i olika ekologiskt lämpliga höjdivtervall som färgläggs för att optimera tolkningsbarheten. Proceduren liknar den för generering av krontaksmodellen (Figur 3-8) men i detta fallet subtraheras markmodellen från hela laserpunktmolnet. De intervall som har använts har avsett att försöka lyfta fram fält- och buskskiktets karaktär. De inter-

vall som används är; 0-0,1 m för mycket låg vegetation eller moss- och lavdominerat, 0,1-0,15 m och 0,15-0,25 m för gräs- och risdominerade fältskikt, 0,25-0,5 m och 0,5-1m för högre fältskikt och låg buskvegetation och 1-2 m respektive 2-3 m för högre buskvegetation. Enligt FAO:s indelningssystem övergår buskar i träd vid 5 m, men då många trädgrenar hänger ner i intervallet 3-5 m valdes en lägre buskhöjd i denna studie. Notera att andra strukturer som liggande död ved och vissa stenblock också uppträder som delmängder i dessa intervall. Slutligen klipps alla punkter bort som befinner sig högre än 3 m ovan markytan för att på så sätt exponera strukturer nära markytan, se Figur 3-9.



Figur 3-9 Principen för bearbetning av laserpunktmolnet före visuell tolkning. I den nedre bilden kan man tydligt se liggande träd och variation i fält-/buskskiktet. Normalisering, filtrering och infärgning ökar tolkningsbarheten avsevärt. OBS bildexemplet är hämtat ur data med betydligt högre upplösning än Lantmäteriets laserdata. (Skånes et al., 2011a).

3.3.5 Rekognoserande fältarbete

En rekognosering under tre dagar utfördes i så nära anslutning till registreringen som möjligt (8, 14 och 16 april 2010). Vid rekognoseringen genomströvades området för att skapa en så god bild som möjligt av förhållandena vid registreringstillfället och allmänna förhållanden i vegetationens karaktär. För att säkra underlag för de fortsatta visuella analyserna av data genomfördes fotoregistrering och kortfattad beskrivning av ett antal punkter i ett 80 m punktnät som lagts ut på förhand. I Figur 3-10 redovisas hur området genomströvades (spår från GPS) och vilka punkter i punktnätet som dokumenterades.

Under en halv dag i september 2012 genomfördes en kompletterande fältregistrering med GPS av liggande död ved i delar av området. Syftet med denna registrering var att validera de visuellt tolkade linjestrukturerna som förmodas vara liggande döda träd. Problemet med denna registrering var dålig GPS-mottagning som ledde till mycket osäker positionering av liggande träd.



Figur 3-10 Redovisning av utförd fältrekognosering 8, 14 och 16 april 2010. Syftet med detta fältarbete var att få valideringsuppgifter kring markförhållanden som underlag för analyser av AHAB:s och Lantmäteriets laserdata.

3.4 Användargrupp

Ett av EMMA-programmets syften är att skapa praktiskt användbara karterings- och övervakningsmetoder för terrestra och grundna marina miljöer i kustzonen. För att fånga in vilka behov som finns hos olika användare i samhället och hur man i praktiken kan använda tekniken har en användargrupp medverkat i kustzonsprojektet. Användargruppens syfte har varit att utifrån den erfarenhet som har byggts upp i EMMA-programmet ge synpunkter på hur resultaten kan presenteras och användas i praktiken.

I användargruppen har ingått representanter för aktörer som arbetar med kustzonsplanering inom kustkommuner, kustlän och andra institutioner i södra Östersjön, se Bilaga 3. Användargruppen deltog tillsammans med projektets arbetsgrupp vid ett möte i Åhus i september 2012, där en preliminär rapport presenterades och diskuterades. Vid mötet framkom värdefulla synpunkter på presentation av data och utformning av kartorna. Med utgångspunkt från detta har vissa förbättringar gjorts av kartorna, bl.a. den underliggande klassificeringen, layout och färgsättning, samt beskrivning av data. En viktig fråga som kom upp på mötet var behovet av kartor som visar på risk för erosion, dvs. en heltäckande värdering av vilka områden som är utsatta för erosion. I utredningen har därför denna fråga studerats specifikt och några resultat visas i Kapitel 6.

Diskussionen med användargruppen gav även en viktig insikt i behoven av kartunderlag för förvaltning på kommunal och regional nivå och hur de underlag som tagits fram i kustzonsprojektet svarar mot dessa behov. Detta tas upp i diskussionsavsnitten i Kapitel 4 och 7.

4 Kartläggning av akvatisk miljö

I detta Kapitel beskrivs kartläggning av den akvatiska miljön i Åhus. Resultat redovisas från automatisk klassificering av undervattensmiljön genom kombinerad användning av fältdata, laserdata och DMC-flygbilder (metoden beskrivs i Avsnitt 3.2.2). För att illustrera hur den framtagna klassificeringen av botten typer kan användas inom naturvård redovisas även en kartläggning av naturtyperna Sublittorala sandbankar (1110) och Rev (1170) enligt Natura 2000 i Avsnitt 4.2.

4.1 Automatisk klassificering av botten typ med laserdata och DMC-flygbilder

Laserpunkter från de fältdataavsnitt som inte använts för att skapa klassificeringsmodellerna användes för utvärdering av klassificeringsnoggrannheten (Tabell 4-1). Tabellen anger beräknad noggrannhet då alla fyra datakällorna använts (markmodell, laserpunktdata, laservågform och flygbild). Den klass som fick bäst utvärderingsresultat på kartnivå är Bar sand. För denna klass var User's Accuracy (UA) 93 %, vilket innebär att det som visas som Bar sand på kartan i 93 % av fallen bedöms vara av denna botten typ. Sand med högväxt vegetation och Hårdbotten fick sämre utvärderingsresultat (UA kring 65 %) och dessa klasser sammanblandas till en del med varandra.

I Tabell 4-1 (b) och (c) anges förväxlingsmatriser då de fyra klasserna generaliserats till tre respektive två klasser (jfr Tabell 3-1). Tabellen (c) visar att Sand som helhet (med eller utan vegetation eller lösa alger) respektive Hårdbotten kunde klassificeras med relativt hög noggrannhet, TA 80 %. Den skattade noggrannheten UA för "lösa alger" är 12 %, och man ser att lösa alger i första hand klassificeras som Sand med hög vegetation. Andelen lös vegetation är dock relativt låg i området jämfört med övriga klasser. Det bör också noteras att förändringar i miljön kan ha skett mellan laserskanning, fältdatainsamling och flygfotografering. Förändringar i miljön kan ha påverkat noggrannheten generellt för alla klasser och speciellt för klassen Lösa alger.

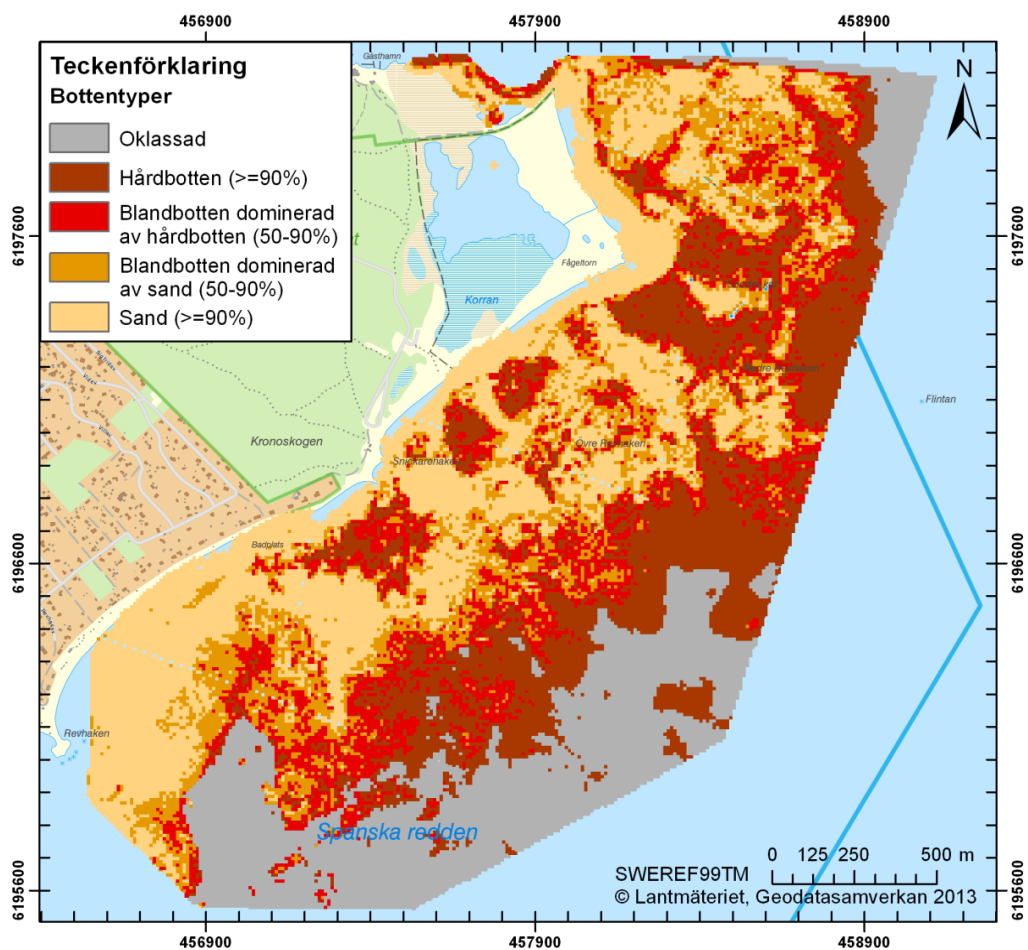
Tabell 4 1. Utvärdering av klassificeringens noggrannhet för enskilda bottentypsklasser (a), generalisering till SandHögVegetation/Sand/Hårdbotten(b) och Sand/Hårdbotten (c); Producer's Accuracy (PA), User's Accuracy (UA) samt "Total Accuracy" (TA). Vid utvärderingen användes 2581 laserpunkter som inte använts vid träningen av klassificeringsmodellen.

(a)	Sand HögVeg	Bar Sand	Lösa alger	Hårdbotten	TOTAL	PA (%)
Sand HögVeg	443	46	19	198	706	63
Bar Sand	30	877	33	124	1064	82
Lösa alger	13	5	8	6	32	25
Hårdbotten	174	12	9	584	779	75
TOTAL	660	940	69	912	2581	
UA (%)	67	93	12	64		TA=74

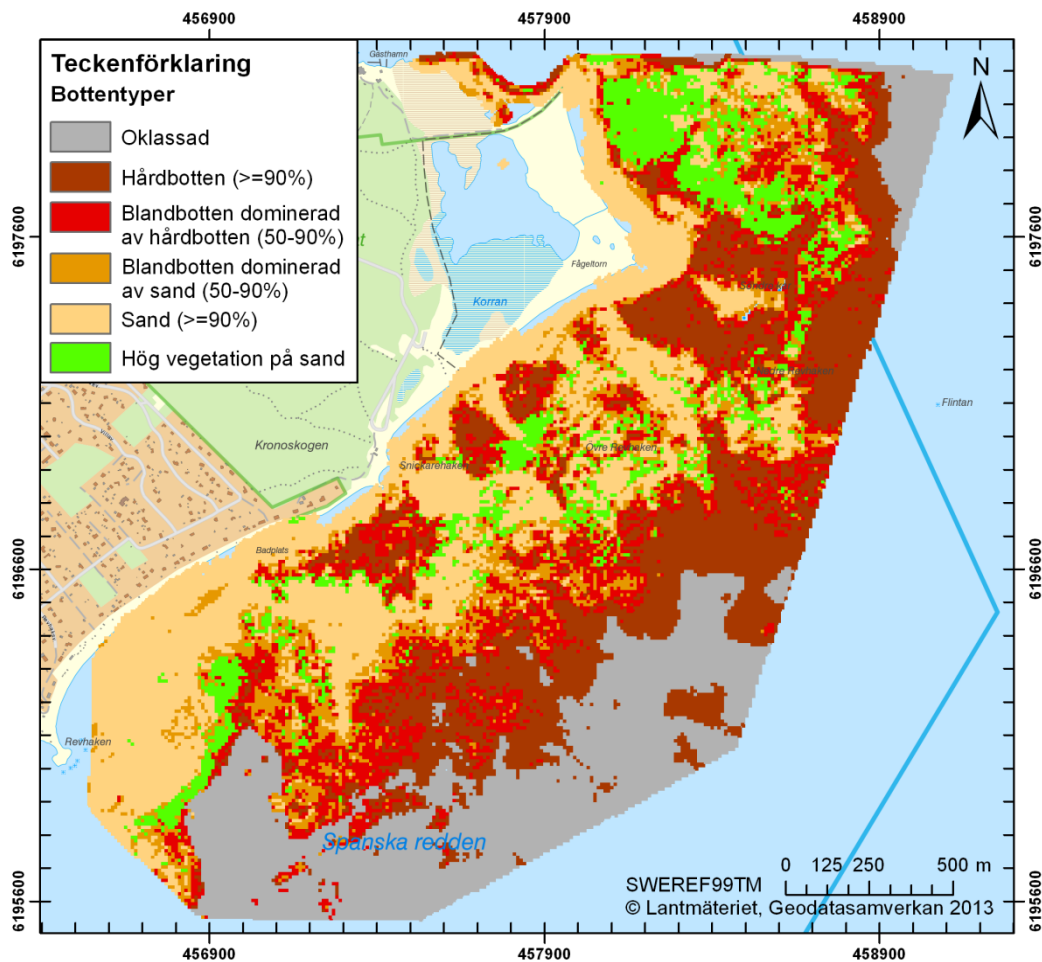
(b)	Sand HögVeg	Sand	Hårdbotten	TOTAL	PA (%)	
Sand HögVeg	443	65	198	706	63	
Sand	43	923	130	1096	84	
Hårdbotten	174	21	584	779	75	
TOTAL	660	1009	912	2581		
UA (%)	67	91	64			TA=76

(c)	Sand	Hårdbotten	TOTAL	PA (%)		
Sand	1474	328	1802	82		
Hårdbotten	195	584	779	75		
TOTAL	1669	912	2581			
UA (%)	88	64				TA=80

I Figur 4-1 och Figur 4-2 visas exempel på automatisk klassificering med laser- och DMC-data. Figur 4 1 visar en substratkarta som baseras på täckningen av Hårdbotten och Sand inom 10*10 m rutor. Figur 4 2 visar substratkartan där även klassen Hög vegetation tagits med. Griddrutor med 50 % eller fler av punkterna klassade som Hög Vegetation visas som Hög Vegetation.



Figur 4-1 Klassificering av substrat från laser- och DMC-data. Kartan visar täckning i 10 *10 m rutor. Total accuracy är beräknad till 80 %.



Figur 4-2 Klassificering av substrat och Hög vegetation från laser- och DMC-data. Kartan visar täckning 10*10 m rutor. Total accuracy är beräknad till 76 %.

Det finns en rad möjliga förbättringar och utvecklingsmöjligheter av denna metod. De flesta är relativt enkla åtgärder som t.ex. att anpassa tiden för mätning och fältdatainsamling. Resultaten i denna studie bör ses som en indikation på vilka klasser/miljöer som kan särskiljas. Även om manuell inspektion av fältdatapositioner har genomförts kan positionsosäkerhet ha bidragit till att klassificeringen till viss del inneburit en sammanblandning av klasserna. En anledning till sammanblandningen av hög vegetation med block och sten (klassen "Hård") kan vara att lasermätningen gjordes tidigt på våren, när fjolårsvegetationen delvis var visen och låg ned mot botten och årsvegetationen inte hunnit växa till. Optimal tidsperiod för kartläggning av bottenvegetation är på sensommaren, i slutet av vegetationsperioden. Den klassificering av Hård- och Mjukbotten som gjorts bör efter positionskontroll av fältdata även kunna genomföras ned till 10-12 m djup (nuvarande klassificering sträcker sig till 7 m bottendjup).

DMC-flygbilderna är en viktig informationskälla och kan i kombination med laserdata användas för automatisk klassificering i kontrastrika miljöer som denna. I denna studie användes bilder med 8-bitars dynamik. Det finns potential till förbättring om högre dynamik (antal intensitetsnivåer) kan användas, eftersom undervattensmiljön generellt ger svaga intensitetsnivåer jämfört med pixlar över land. Det bör dock betonas att flygbilder kan vara av begränsad nytta i kontrastsvaga miljöer, samt vid ogynnsamma förhållanden (vågor, molnighet, ljusstillgång, dåligt siktdjup). Begränsningar som dåligt siktdjup och höga vågor inverkar även negativt på laserdata, men i något mindre omfattning än för flygbilder. Dagens operativa lasersystem (t.ex. HawkEye II) kan leverera data i miljöer

med siktdjup större än ca 3 m. I och nära utanför inloppet till Åhus hamn var siktdjupet mindre än 3 m har och därför har inte laserdata eller bottenypsklassificering kunnat levereras i denna del av området.

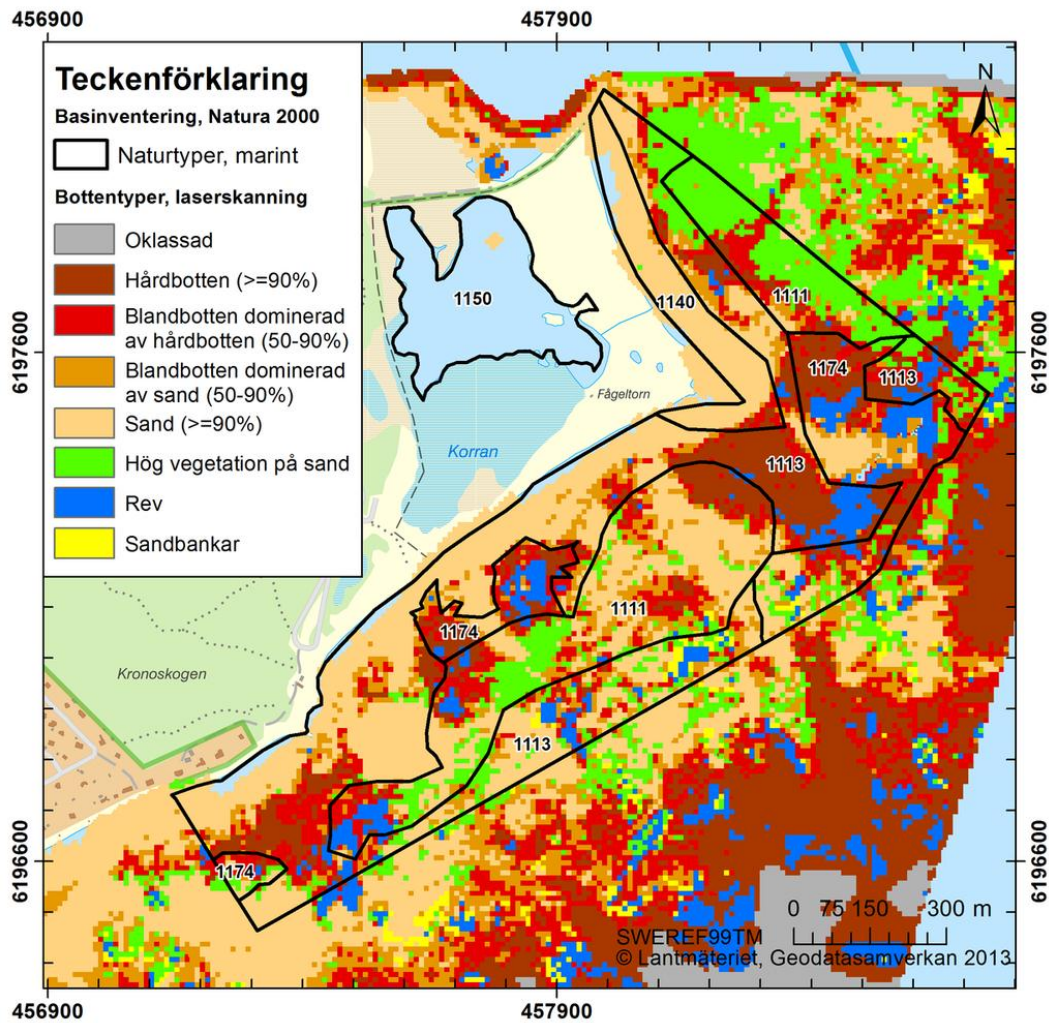
4.2 Avgränsning av naturtyper enligt Natura 2000

Definitionen för naturtyperna Sublittorala sandbankar (1110) och Rev (1170) är att de är topografiskt upphöjda från omgivande botten och domineras av sand (1110) eller hårt substrat (1170). Både sand och hårt substrat kunde klassificeras med relativt hög säkerhet med hjälp av laser och DMC-bilder (se Avsnitt 4.1) och den framtagna digitala höjdmodellen visar tydligt vilka områden som är upphöjda. Uppdelningen av bar sand och sand med vegetation i bottenypsklassningen möjliggör också avgränsning av de två undertyperna Sandbankar utan vegetation (1113) och Sandbankar med ålgräsängar och annan långskottsvegetation (1111).

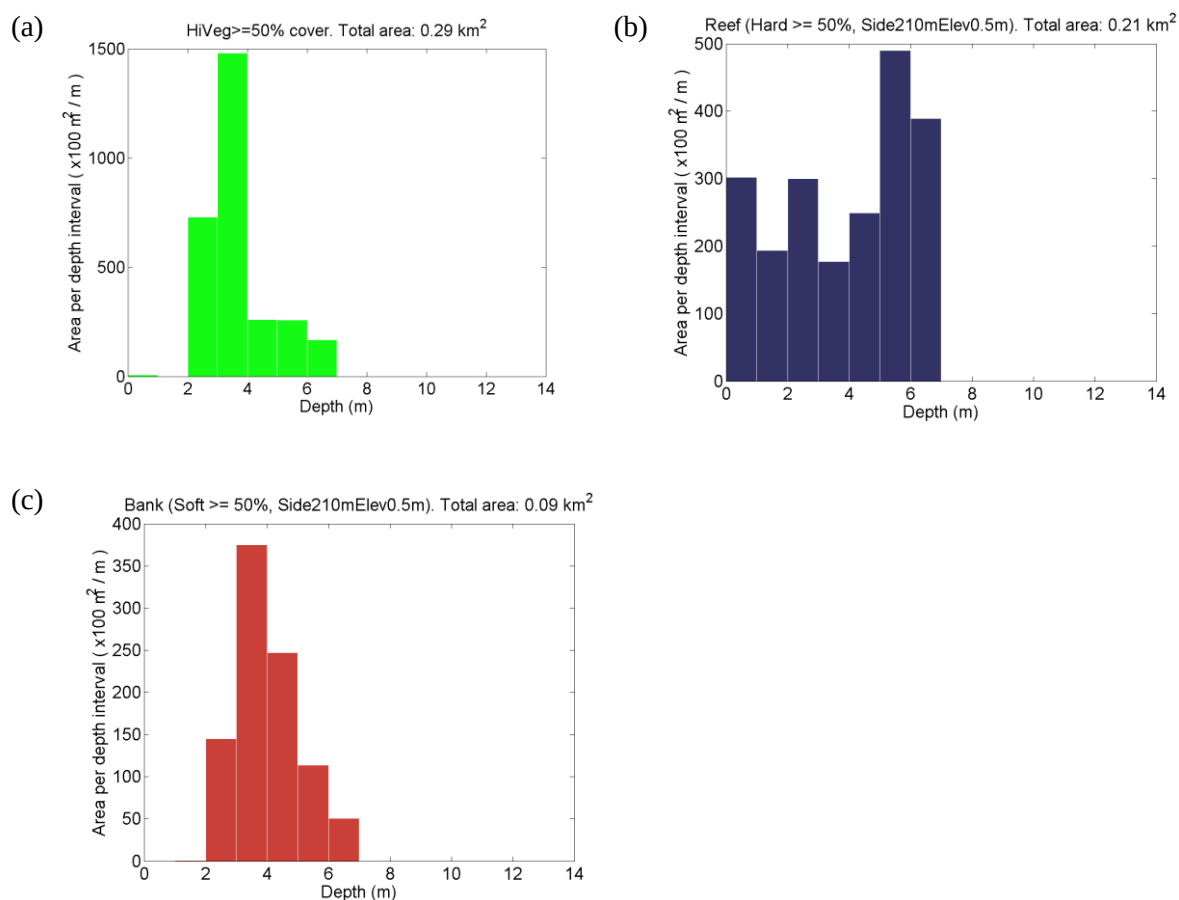
En naturtypskarta har tagits fram över undersökningsområdet genom att först, med hjälp av djupdata, räkna ut förhöjningar och sedan kombinera dessa med klassningsdata av Hård- och Mjukbotten. En förhöjning på > 0.5 m (av mediandjup inom 10×10 m) i förhållande till omgivande botten inom en referensyta på 200×200 m har använts för att avgränsa Rev och Sandbankar. Observera att förhöjningen är baserad på mediandjup vilket medför att enstaka punkter inom förhöjningen (inom $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$) kan ha både högre och lägre förhöjning över omgivande botten. Detta sätt ger relativt sammanhängande områden och minskar effekten att få enstaka sonderingspunkter klassificerade som rev eller bankar. Gränserna ($0,5$ m förhöjning och 200 m referensyta) har valts baserat på preliminär utvärdering i SUPERB-projektet (<http://www.ultra-superb.eu>). En djupbegränsning lades in för klassificering av Bankar, med ett krav att dessa inte skulle få finnas grundare än på 1.5 m djup (mediandjup i 10×10 m) eftersom Bankar annars skulle klassificeras nära stranden vilket skulle strida mot definitionen att de ska vara topografiskt avgränsade från omgivande botten. Resultatet visas i Figur 4-3.

Denna avgränsning av naturtyper kan jämföras med den kartläggning av naturtypernas utbredning som tagits fram inom basininventeringen, som lagts över klassningen i Figur 4-3. Basininventeringen genomfördes med vattenkikare och dyk/snorkling i fält, utan tillgång till någon detaljerad batymetrisk data. Den största skillnaden mellan kartorna är att laserskanningen inte ger något stöd för att det finns annat än mycket små och begränsade Sublittorala sandbankar (1111 och 1113) i området (enligt definitionen att de ska vara topografiskt avgränsade från omgivande botten). Jämförelsen visar att den batymetriska informationen är avgörande för att avgränsa dessa naturtyper. Det är också intressant att jämföra skillnaderna mellan det som karterats som Sandbankar med vegetation (1111) respektive Rev (1174) i basininventeringen och hög vegetation på sand respektive hårbotten och Rev i bottenypsklassningen med laser och flygbilder. Inventeringen med vattenkikare ger med nödvändighet en mer generaliserad bild av utbredningen av substrat och vegetation, medan bottenypsklassningen med laser och flygbilder bättre avbildar den småskaliga mosaik av vegetation, bar sand och hårbotten som karaktäriserar området.

I Figur 4-4 visas exempel på ytterligare data som kan tas fram från naturtypskartan, i detta fall djupfördelning av data som klassificerats som Hög Vegetation, Rev och Sandbankar. Ytterligare en naturtyp som är möjlig att avgränsa med de data som tagits fram i projektet är Ler- och sandbottnar som blottas vid lågvatten (1140). För att avgränsa denna naturtyp behövs dels en karta över förekomsten av sand och lera, dels en heltäckande djup- och höjdm modell för att avgöra vilket område som ligger inom rätt djupzon (mellan medelvattenståndet och det lägsta lågvattenståndet). Genom att kombinera bottenypskartan som tagits fram med laser och DMC-bilder med den kombinerade djup-höjdm modellen (se Kapitel 7) och vattenståndsdata skulle det således vara möjligt att exakt avgränsa utbredningen av denna naturtyp i undersökningsområdet.



Figur 4-3 De marina Natura 2000-naturtypernas utbredning, baserat på underlag framtagna i detta projekt samt enligt basininventeringen. Naturtyperna från basininventeringen är 1111 = Sublittorala sandbankar utan vegetation; 1130 = Sublittorala sandbankar med ålgräsängar och annan långskottsvegetation; 1140 = Ler- och sandbottnar som blottas vid lågvatten; 1150 = Laguner; 1174 = Geogent rev



Figur 4-4 Djupfördelning av data som klassificerats som Hög Vegetation (a), Rev (b) och Bankar (c) enligt naturtypskartan i Figur 4-3.

4.3 Diskussion

Projektet visar att med en kombination av flygbilder och batymetrisk laserdata från HawkEye II är det möjligt att ta fram en relativt säker klassning av grunda bottenar, i detta fall till ca 7 m djup. Den framtagna bottenkartan visar grova bottenklasser (sand/hårdbotten; med/utan vegetation), men redan en sådan grov indelning kan vara ett viktigt underlag för exempelvis naturvärdeskartläggning, uppföljning av bevarandemål i skyddade områden och övervakning av erosionsförändringar i kustzonen.

Den framtagna kartan över botten typer tillsammans med den detaljerade batymetriska informationen kan användas för att avgränsa naturtyperna Sublittoral sandbankar (1110) och Rev (1170), samt undergrupperna Utan vegetation (1113) och Med ålgräsängar och annan långskottsvegetation (1111), och tillsammans med vattenstånds data för att avgränsa Ler- och sandbottenar som blottas vid lågvatten (1140). Det innebär att det är möjligt att göra en heltäckande kartering och uppföljning av dessa naturtyper inom Natura 2000-området.

Hög vegetation, dvs. ålgräsängar och annan långskottsvegetation, är utpekade som prioriterade biotoper för bevarande. Samtidigt är dessa biotoper hotade av mänsklig störning, både försämring av vattenkvalitet och fysisk exploatering, och det finns därför ett stort behov av att följa upp vegetationsförändringar. Utbredningen av ålgräs och annan vegetation pekas också ut som en av de viktigaste sakerna att följa upp i marina skyddade områden, eftersom vegetationen har en viktig

funktion och svarar tydligt på förändringar i närsaltsbelastning och andra typer av störning (Havs- och vattenmyndigheten, 2012).

Hårdbotten och vegetation kan indikera att bottenarna är relativt stabila, medan öppen sand i grunda områden kan indikera ett rörligt substrat som kan vara ett tecken på erosion. Genom att jämföra bottenklassningar från upprepade laserskanningar skulle man därför kunna identifiera stabila områden och områden där det sker stora förändringar. Jämför även Avsnitt 6.2.11.

Användargruppen var generellt positivt inställd till bottenkartan. Den bedöms av länsstyrelsen kunna fungera som underlag för översiktiga bedömningar av exempelvis naturvärden och erosionskänslighet i områden med otillräckligt kunskapsläge. Den kan också vara ett bra underlag för att identifiera intressanta områden vid planering av fältundersökningar. Däremot bedöms dessa kartor inte vara tillräckliga som underlag för beslut om områdesskydd eller en fullständig erosionskartering, då behöver de kompletteras med fältbesök. Det stora värdet ligger att få fram översiktliga kartor över stora områden.

Tidpunkten för att genomföra en lasermätning är viktig eftersom den påverkar kvaliteten på data men också vad man kan och inte kan se under vatten. Lasermätningar kräver ett siktdjup på över 2-3 meter och detta uppnås bäst i perioder med lågt vattenstånd och då det inte under lång tid förekommit någon nederbörd. Mätningen, störs inte nämnvärt av vågor (om det inte är kraftiga vågor med vitt skum). En lämplig period är före isläggningen eller augusti-september när det ofta är lugnt väder och därmed liten grumling av vattnet. Mätningens syfte styr också valet av mättillfälle, exempelvis om man vill eller inte vill bestämma vegetationen, som har sin maximala storlek och utbredning på sensommaren och tidig höst. I denna studie har använts laserdata från april, när vegetationen inte hunnit börja växa till sig efter vintern, vilket kan ha påverkat möjligheten att separera vegetationen på sandbotten från block och sten.

5 Beskrivning av kustnära terrester-akvatisk miljö

Nedan beskrivs integrerad kartläggning av den kustnära miljön i Åhus, både under och ovanför vattenlinjen. Resultat redovisas från visuell och semiautomatisk klassificering av flygbilder samt visuell tolkning av bearbetningar av laserpunktmoln och lasergenererad terrängmodell från Nationella höjdmodellen.

På grund av detta kapitels breda ansats diskuteras resultaten direkt under respektive avsnitt, till skillnad mot övriga kapitel.

5.1 Visuell tolkning och ostyrd klassificering av bottenkaraktärer i digitala IRF-flygbilder (DMC)

Den visuella tolkningen i DMC-bilderna visar tydligt att bottenarna är varierande i färg, se Figur 5-1. Närmast strandlinjen dominerar de ljusa bottenarna, men även längre ut finns gott om bottenar med ljus eller mixad mörk/ljus karaktär. Det är viktigt att framhålla att denna tolkning gjordes snabbt och översiktligt, samt att begreppet mixade bottenar mer är en effekt av generalisering och skala än en egen klass. Då strukturen tidvis är mycket småskalig är det tidsödande att göra en detaljerad manuell kartering av ljusa respektive mörka partier med en tillräckligt liten minsta karteringsenhet. I detta läge är det betydligt mer effektivt att använda en semi-automatisk metod att separera de ljusa bottenarna från de mörka (Figur 5-2). I detta fall användes en ostyrd automatisk ISO-klassificering som aggregerades visuellt till två klasser, ljus respektive mörk botten. Den skrafferade ytan motsvarar klassen mosaik av mörk och ljus botten i den visuella tolkningen.

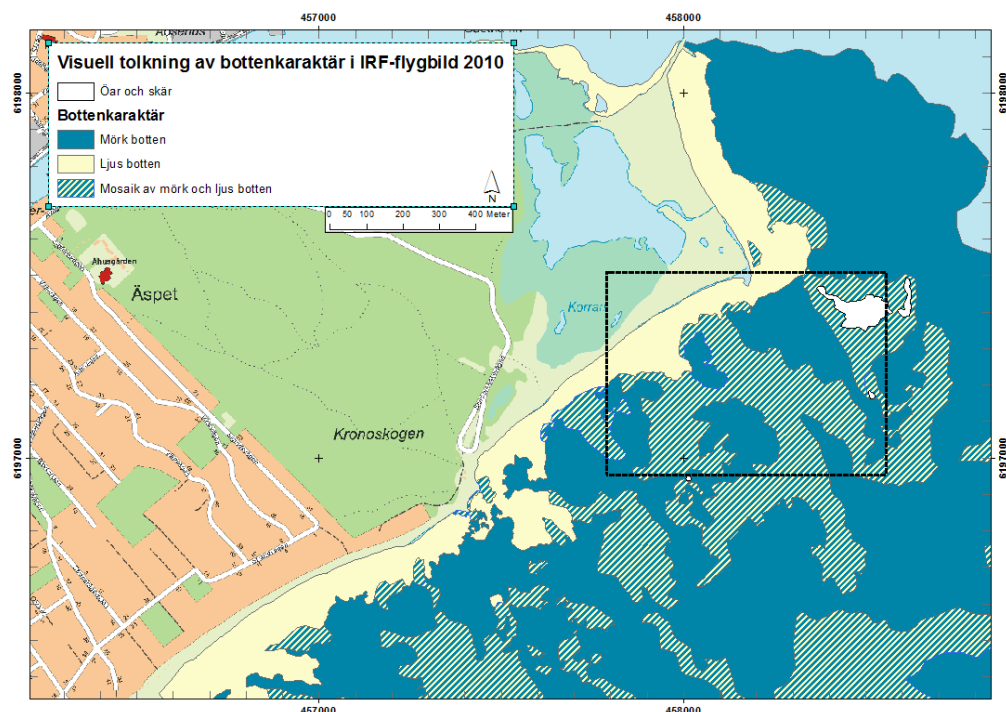
Även om båda metoderna är en preliminär tolkning av informationen i flygbilden, stämmer bilden av bottenarnas färgkaraktär väl överens mellan den visuella tolkningen och den ostyrda klassificeringen, se Figur 5-3. Det grundaste området nära stranden med ljusa bottenar stämmer mycket väl överens. Figuren illustrerar problematiken kring generalisering och skala. Områden som i vänstra kartutsnittet har klassats som mosaik (randig klass) har i själva verket en mer småskalig uppdelning i ljus respektive mörk botten. På djupare vatten och åt SV i dessa bilder ökar osäkerheten i såväl den automatiska klassningen som den visuella tolkningen, både beroende på vattendjupet men även på grund av en större solreflex och att ytan ser ut att vara påverkad av någon suspension eller möjligen antydan till algblooming.

Denna ostyrda och manuellt bearbetade klassning är en enkel metod som kan fungera som stöd i fortsatt visuell och automatisk klassificering av botten typer. Fördelen är att detaljeringsgraden i originalbilden bibehålls på ett helt annat sätt än i den visuella tolkningen av bottenkaraktärer, se Figur 5-3. I den visuellt tolkade kartan är upplösningen betydligt sämre än i den automatiskt klassade.

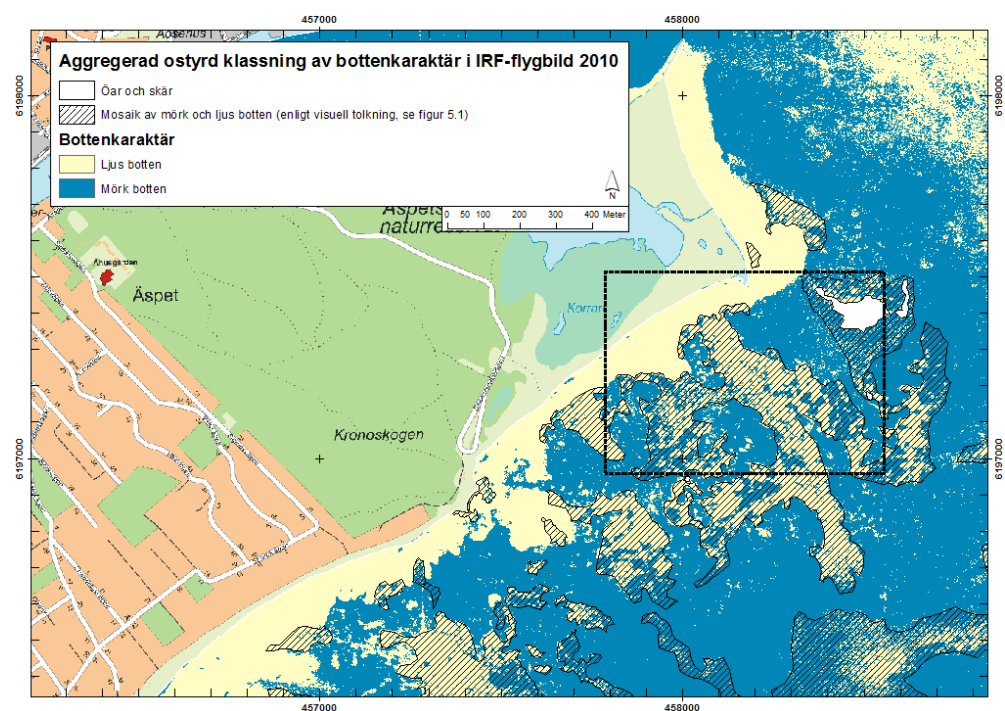
En översiktlig jämförelse med fältdata till den akvatiska klassificeringen (Kapitel 4) visar att de mörka bottenarna generellt verkar representera antingen sand med vegetation eller hårbotten, medan de ljusa bottenarna är områden med bar sand. Även drivande alger blir mörka i flygbilden. Det innebär att den resulterande botten typsklassningen blir grövre än i analysen som inkluderar även laserdata, där det var möjligt att skilja ut hårbotten från vegetation på sand med relativt god säkerhet.

Försök gjordes att upprepa samma ostyrda klassificering i bilder från närliggande år, men vattenkvalitet och speglingar eller vågmönster gör det svårt att få till en förändringsbild över tid

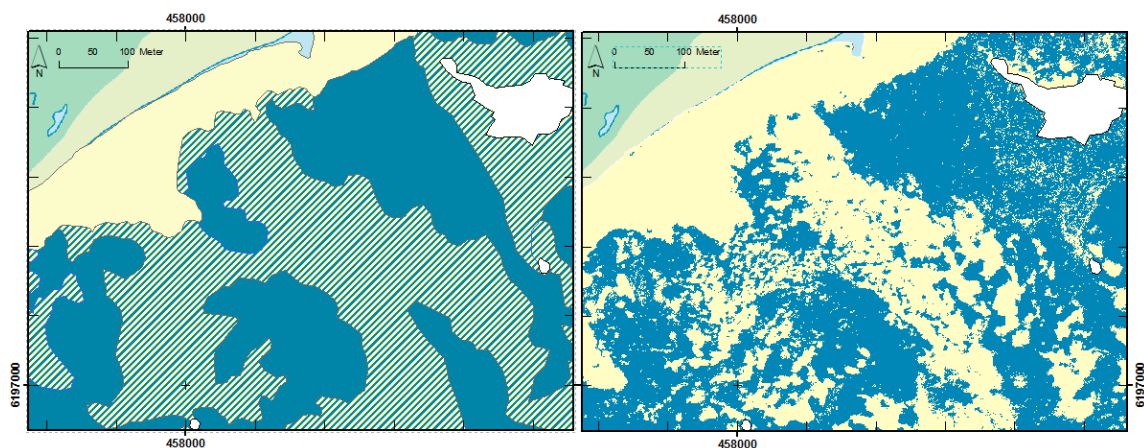
(Figur 5-4). Det finns troligen en potential att detektera förändringar, men detta behöver studeras vidare, till exempel genom att korrigera bilderna för vattnets grumlighet eller genom separata klassificeringar för respektive bildtillfälle.



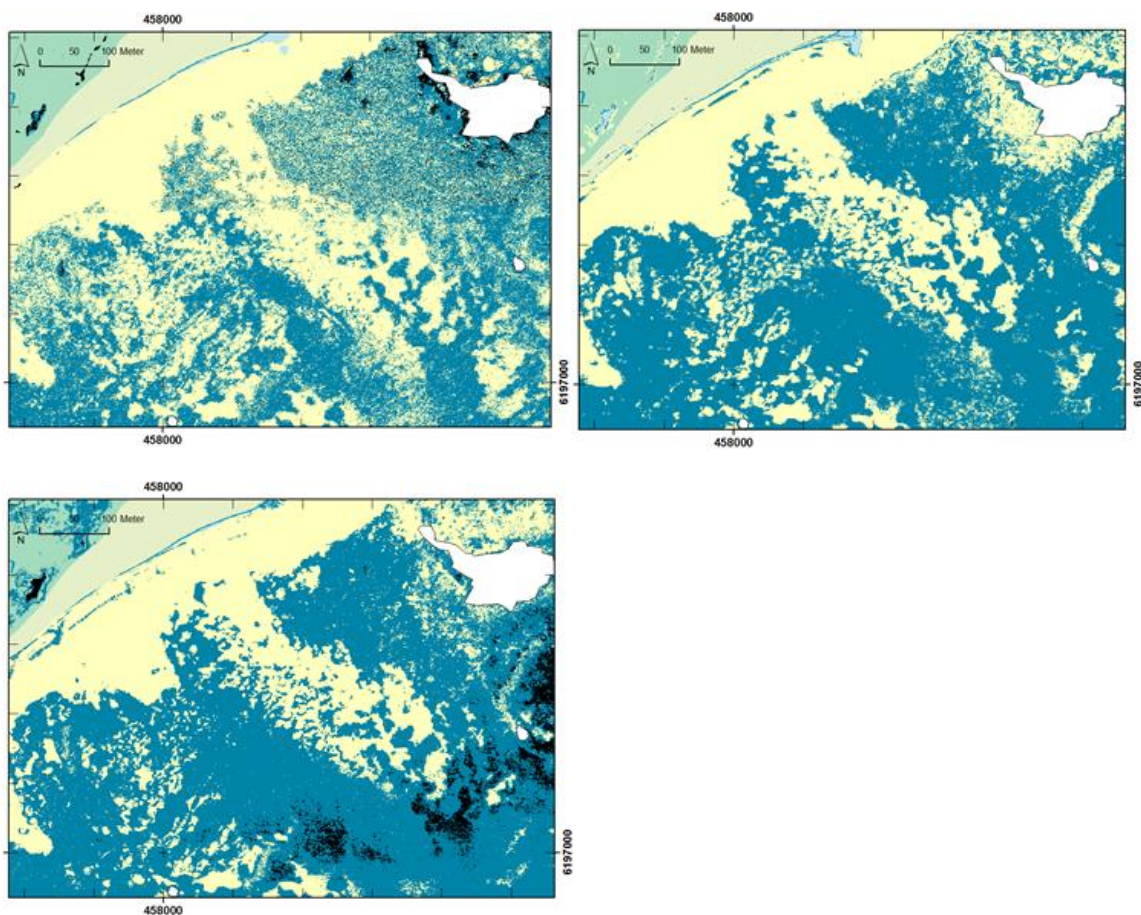
Figur 5-1 Visuellt tolkade bottenkaraktärer ur DMC IRF-bilder från 2010. Den infällda svarta rutan visar utsnittet i Figur 5-3 och Figur 5-4. Underlagskarta: Tätortskartan (© Lantmäteriet).



Figur 5-2 Bottentyper enligt ostyrd klassificering av IRF-flygbild från 2010 i Erdas Imagine. Totalt 40 klasser har visuellt omklassats till två bottentyper, ljus respektive mörk. Underlagskarta: Tätortskartan (© Lantmäteriet).



Figur 5-3 Jämförelse mellan manuell översiktlig tolkning (tv) och aggregerad ostyrd klassificering (t.h.) av botten typ i bilder från 2010. Blågrön färg är mörka bottenar, gul är ljusa bottenar.



Figur 5-4 Försök att skapa en förändringsbild över bottenförhållanden i bilder från 2007 (ovan t.v.), 2010 (ovan t.h.) och 2012 (nedan t.v.). Mönstret av mörka bottenar (blågrönt) mot ljusa bottenar (gult) är i huvudsak liknande, men det är tydligt att vattenkvaliteten varierar över tid. Svart motsvarar områden som inte kan tolkas på grund av speglingar/vågmönster på ytan.

5.2 Visuell tolkning av det lågupplösta laserpunktmolnet på land

Den stora fördelen med laserregistrerade landskapsdata är att de till stora delar kan penetrera träd-täckt mark och fånga upp information om markytan och strukturer på den samma, samt ge information om vertikal skiktning i vegetation. Flera av de egenskaper inom vegetationen som krävs för modern naturvård är dolda för flygbildstolkaren i och med att stora delar av Sverige täcks av träd. Genom att använda lågupplösta laserdata som i detta projekt (2 m) kan viktig tilläggsinformation till en traditionell flygbildsbaserad vegetationskarta skapas.

Ursprungligen var ambitionen att tolka även terrestra områden registrerade med HawkEyes topografiska laserdata, men denna ambition fick överges på grund av att laserdata inte hade tillräcklig god kvalitet. Istället fick projektet tillgång till markmodellen och laserpunktmolnet från Lantmäteriets nya nationella höjddatabas.

Avsikten var att utforska vilken typ av information om nyckelegenskaper i vegetationen som kan tolkas med stöd av visuella metoder i lågupplösta nationella laserdata. Trots att data är lågupplösta i jämförelse med detaljerade laserregistreringar visade det sig att man i viss utsträckning kan lokalisera liggande träd och förekomst av buskar, även på trädklädd mark. Tanken är att på sikt ersätta visuella metoder med semiautomatiska och automatiska, men i väntan på och parallellt med generellt applicerbara sådana är det viktigt att utforska vilken typ av information som man kan erhålla med enklare visuellt baserad metodik.

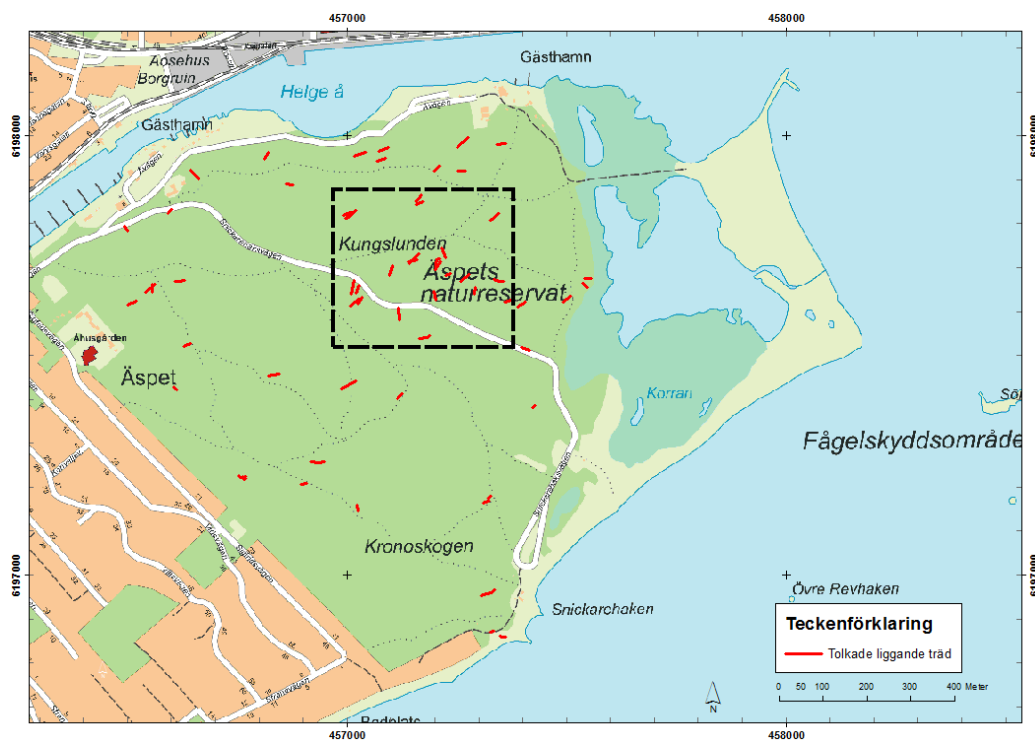
5.2.1 Liggande träd (död ved)

Tillgången på död ved inom Natura 2000 är en viktig faktor för gynnsam bevarandestatus i natur-skogar. Det är därmed inte längre tillräckligt att kunna tolka förekomsten av natur- eller vegetationstyper i ett område utan man behöver även bedöma kvaliteter i vegetationen som underlag att bedöma t.ex. bevarandestatus. Oförmågan att titta ner genom krontaket har alltid varit ett stort problem för den flygbildsbaserade vegetationskarteringen. Samma problem gäller även satellitbaserade klassningar av vegetation (Figur 5-5). Man kan med dessa metoder endast fånga förekomsten av stående döda träd som sticker upp genom krontaket.



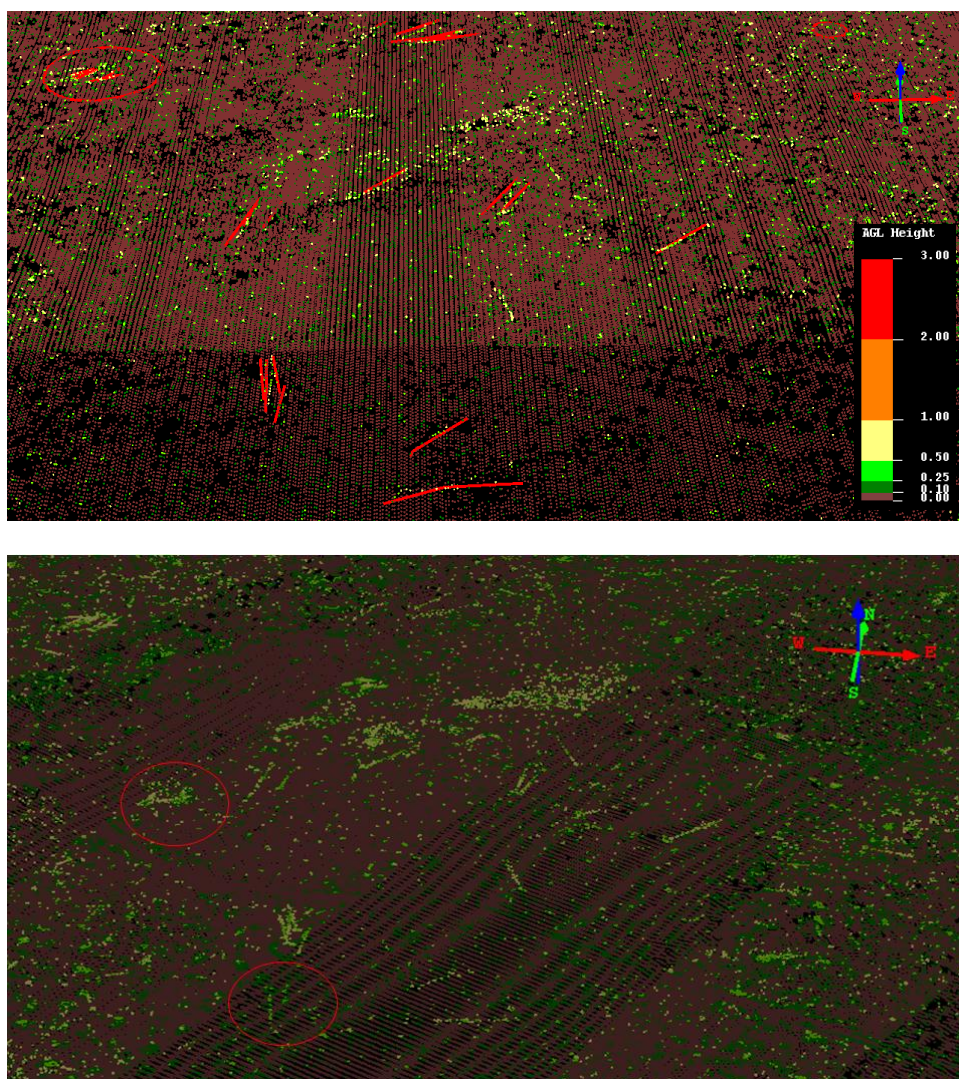
Figur 5-5 Kullfallna träd syns tydligt i laserpunktmolnet (nedan t.h.) men inte i IRF-flygbilden (ovan t.h.). Foto: Helle Skånes.

Efter bearbetning av punktmolnet för optimal tolkning digitaliserades alla linjeelement som bedöms vara omkullfallna träd genom visuell betraktning, se Figur 5-6. Liggande träd framträder med varierande tydlighet i det filtrerade laserpunktmolnet, även i relativt glesa data som Lantmäteriets höjdmodell, se Figur 5-7. Övre bilden utgör utsnitt ur det filtrerade punktlasermolnet (med 0,5 pt/m²) där alla punkter > 3 m från markytan har filtrerats bort. Här framträder tydligt linjära strukturer i intervallet 0,25-1 m över markytan. Röda linjer i övre bilden är liggande döda träd som mätts in i fält. Fältbesök har utförts för att bekräfta övriga linjer som vid visuell betraktning bedöms vara ytterligare kullfallna träd (mer eller mindre tydliga streck i grönt-gult). Nedre bilden utgör ungefärligt motsvarande utsnitt ur AHAB:s laserskanning med Chiroptera från 2013-04-10 med datatäthet på 10 pt/m². Ungefärligt samma mängd liggande döda träd syns vid analys av båda laserpunktmolnen, vilket är något förvånande. De i nedre figuren inringade träden utgör stammar som har stormfällts efter registreringen 2010.



Figur 5-6 Tolkade kullfallna träd i Lantmäteriets höjddata (laserpunktmolnet). Svarta streckade rektangeln motsvarar utsnittet i Figur 5-7. Underlagskarta Tätortskartan (© Lantmäteriet).

En anledning till att omkullfallna träd är så pass synliga i dessa lågupplösta data (1 punkt per 2 m) beror naturligtvis på det faktum att fältskiktet i området var lågt vid registreringsstillfället och att buskar inte förekommer annat än i begränsade områden. En annan anledning kan vara att fallande träd skapar luckor i krontaket och därmed öppnar upp för insyn. Slutligen består stora delar av undersökningsområdet av lövskog som vid registreringsstillfället i stort sett varit helt avlövat. För att kunna uttala sig generellt om tolkningsbarheten av död liggande ved i trädklädd miljö, måste därför laserdata som registrerats under vegetationssäsongens mitt och områden med barrdominerad skog, samt riklig förekomst av buskar tolkas. Sådana data har inte varit tillgänglig i kustprojektet men detta arbete pågår i en annan studie inom EMMA-projektet.



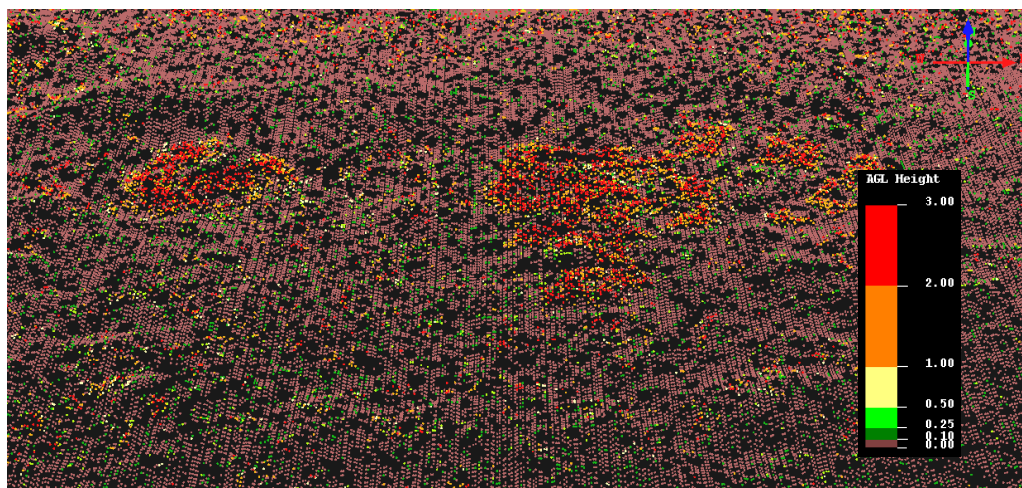
Figur 5-7 Övre bilden utgör utsnitt ur det filterade punktlasermolnet (NNH med 0,5 pt/m²) där alla punkter > 3 m från markytan har filterats bort. Här framträder tydligt linjära strukturer i intervallet 0,25-1 m över markytan. Röda linjer i övre bilden är liggande döda träd som mätts in i fält. Utsnittets placering, se streckad rektangel i Figur 5-5. Nedre bilden utgör ungefärligt motsvarande utsnitt ur AHAB:s laserregistrering med Chiroptera från 2013-04-10 med datatäthet på 10 pt/m².

5.2.2 Sammanhängande områden med buskar och låga träd

Figur 5-8 visar hur vissa områden i punktsvärmen har betydligt tätare buskvegetation än andra. Den bruna färgen motsvarar fältskikt under 10 cm. Detta stämmer väl med fältrekognoserade data. Dominerande delen av fältskiktet i skogen var mycket lågt, dels som en effekt av fältskiktstyp (t.ex. i tallskogen), men även som en effekt av den tidiga registreringstidpunkten (t.ex. i lövskog).

Förekomsten av buskar och låga träd är ofta en effekt av glest trädskikt, se Figur 5-9, och syns därmed ofta även i stereofotograferade flygbilder, men vissa skogstyper kan ha en mer eller mindre tät buskvegetation som inte syns genom krontaket och denna är av flera skäl intressant att kunna kartlägga. Dessutom innebär stereobildernas centralprojektion att även förhållanden i öppna miljöer kan skymmas av lutande träd (höjddeplacering) och skuggor. Undervegetation kan vara en naturlig del av skogstyper på mark med högre bonitet, men kan även, t.ex. i trädbärande hagmarker och

igenväxningsskogar utgöra en indikation på alltför lågt betestryck eller pågående igenväxning. Uppslag av gran i lövskog kan också indikera successiv utveckling av en beståndstyp som på sikt hotar dess bevarandestatus. Det är därför angeläget att kunna kartera utbredning av buskar och låga träd och detta utgör redan idag en viktig om än problematisk variabel inom t.ex. NILS och Natura 2000-basininventering (Figur 5-10).



Figur 5-8 Utsnitt ur det filtrerade punktlasermolnet från Lantmäteriets nationella laserskanning, där alla punkter > 3 m från markytan har filtrerats bort. Här framträder tydligt partier med tät undervegetation, främst tall och lövslå. Utsnittets placering, se streckad rektangel i Figur 5-10.



Skog utan uppslag av buskar/unga träd

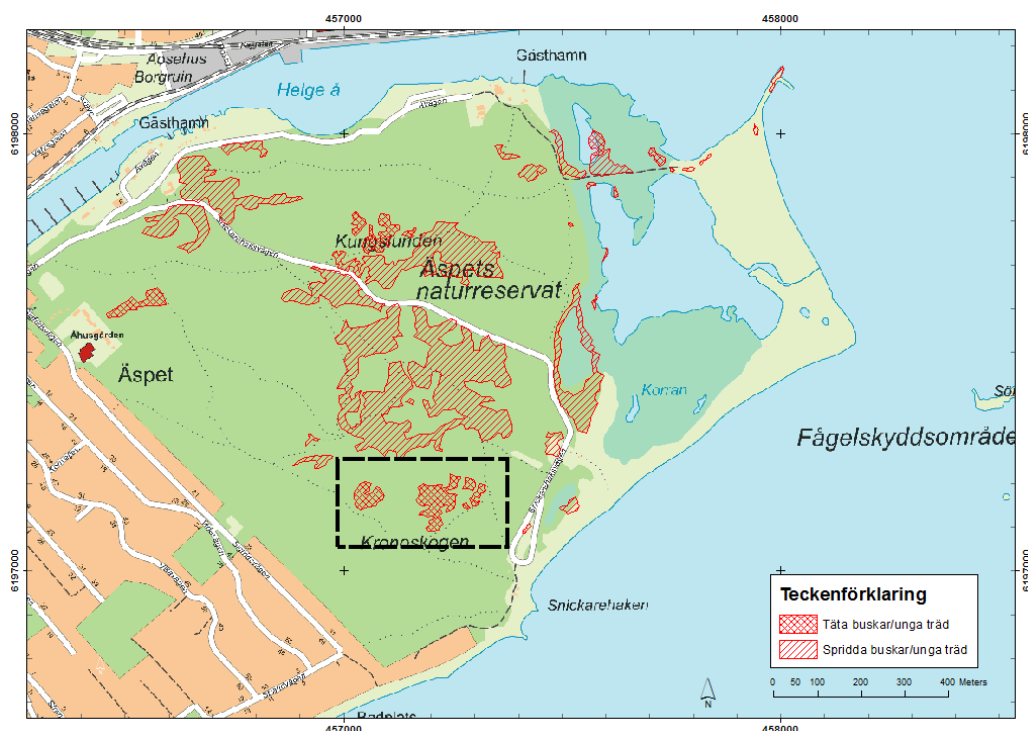


Skog med uppslag av buskar/unga träd



Glänta med uppslag av buskar/unga träd

Figur 5-9 Exempel på fältdokumentation i Äspet som visar förekomst av buskar och fältskiktets karaktär. Foto: Helle Skånes

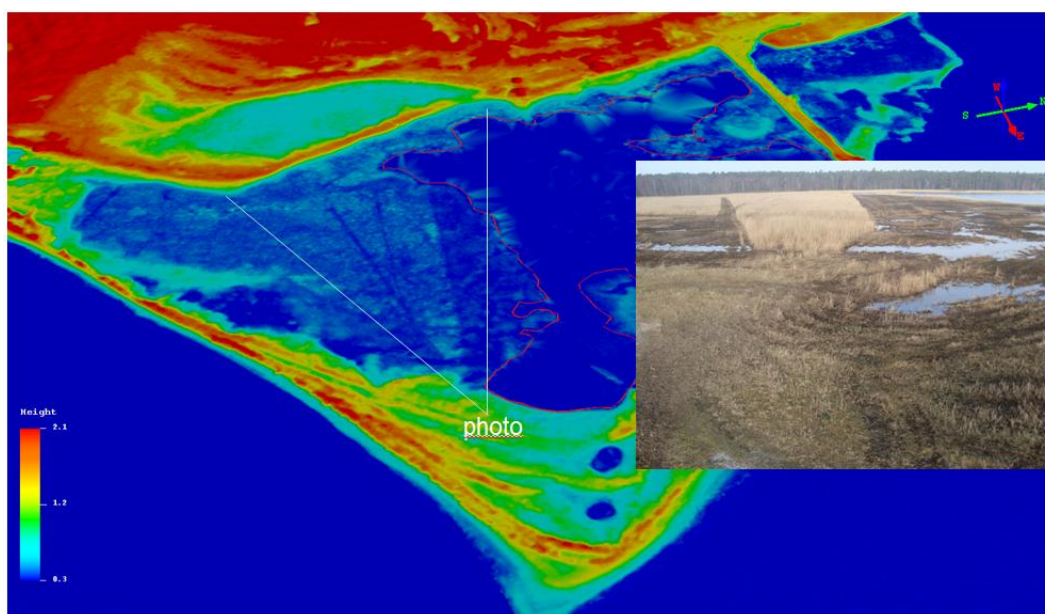


Figur 5-10 Tolkade områden med täta eller glesa buskområden i Nationella höjdmodellens punktdata. Svarta streckade rektangeln motsvarar utsnittet i Figur 5-8. Underlagskarta: Tätortskartan (© Lantmäteriet).

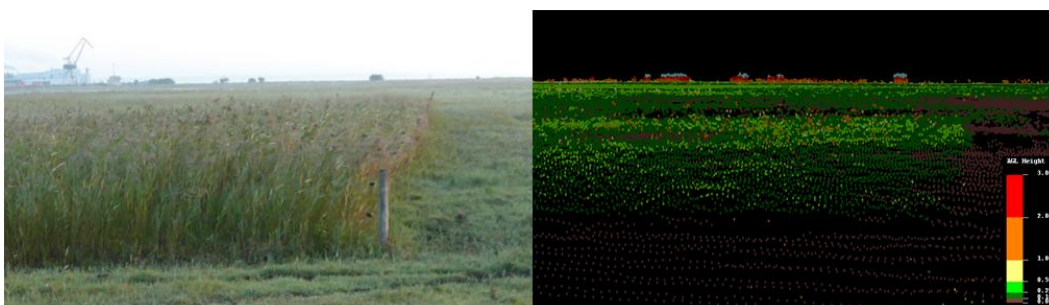
5.2.3 Visuell tolkning av punktmoln och lasergenererad markmodell för identifiering av vass

I projektet har översiktligt undersökts möjligheten att bedöma förekomst och utbredning av vass i kustområden i de nya nationella laserdata (både punktmoln och höjdmodell). Det preliminära resultatet visar att skillnaden mellan orörd vass och vass som röjts i restaureringssyfte är tydligt synliga i Lantmäteriets höjdmodell, se Figur 5-11. Detta är både spännande och bekymmersamt eftersom det indikerar att höjdmodellen i vissa lägen anger en markhöjd som inte stämmer. Detta medför fel i såväl filtrering av laserpunktmolnet för kartering av vegetation och strukturer som vid analyser av höjdmodellen som t.ex. topografiskt fuktighetsindex. Denna problematik ligger bortom EMMA och förhoppningen är att kunna arbeta vidare med detta i framtida forskningsprojekt.

En preliminär filtrering av AHAB:s data från 2013 i Lantmäteriets nationella höjdmodell visar att vissa vassområden inte per automatik hamnat i höjdmodellen utan kan "lösas ut" i punktmolnet och därmed studeras med den i projektet utvecklade filtreringsmetodik (Figur 5-12).



Figur 5-11 Förekomst och utbredning av vass. Vinkeln på det infällda markfotografiet är indikerat i perspektivbilden av höjdmodellen som har färgats in så att vassbältet ska vara så framträdande som möjligt. Foto: Helle Skånes.



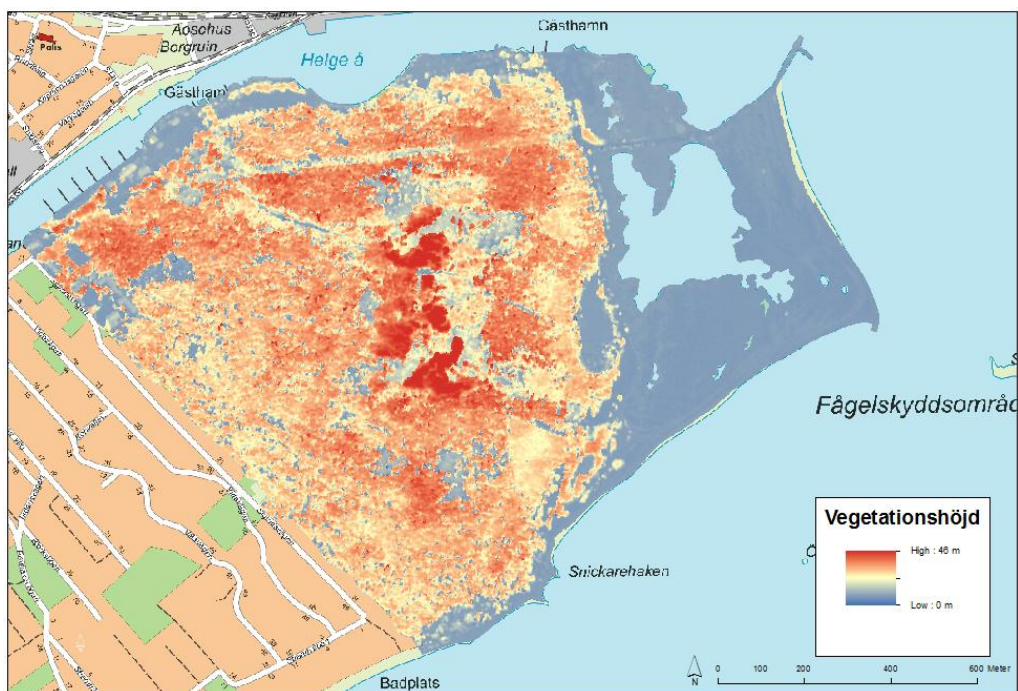
Figur 5-12 Först när vassen har filterats ur höjdmodellen kan den visas som vegetation med höjd över markytan i punktmolnet (AHAB punktmoln från 2013-04-10 normaliserat över Nationella höjdmodellens markmodell 2010). Fältbilden från september 2012. Foto: Helle Skånes.

5.3 Information om trädhöjd

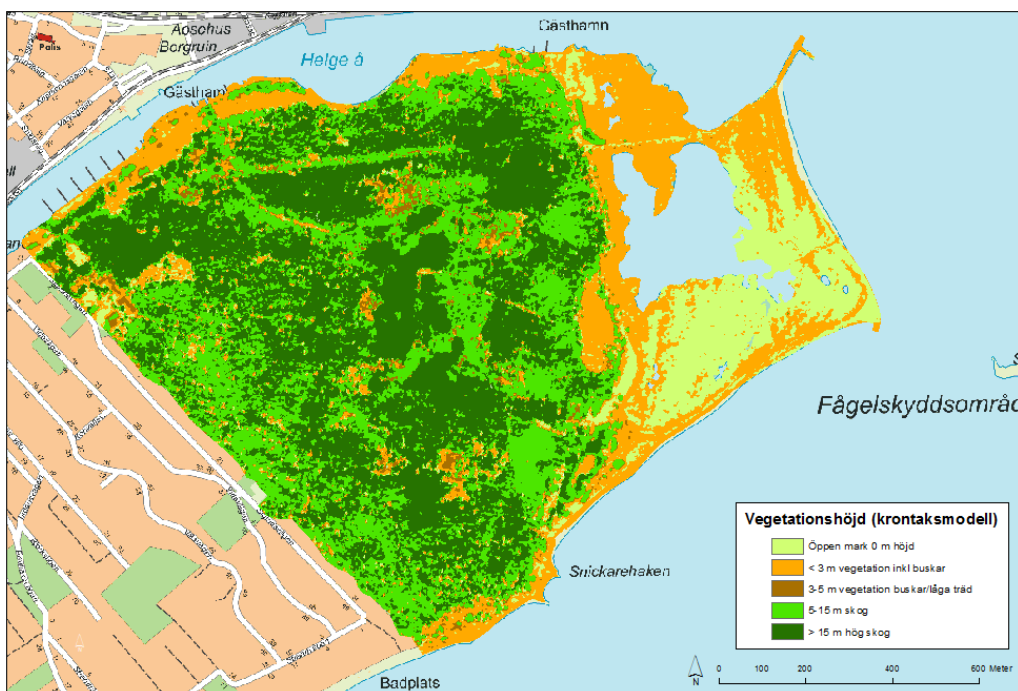
Krontaksmatchningen mellan Lantmäteriets IRF-flygbilder och Nationella höjdmodellens terrängmodell ger viktig tilläggsinformation om vegetationens höjd över markytan, något som av tradition är svårtbedömt vid flygbildstolkning där man bara kan ana markytans läge. Vegetationshöjden är en erkänt svår variabel att tolka ur flygbilder eller klassificera ur satellitdata i någon detaljerad form. Med metodiken som har använts i denna studie, dvs. kombinationen av bildmatchad krontakshöjd och Lantmäteriets högkvalitativa lasergenererade höjdmodell, kan man ta fram en detaljerad bild av vegetationshöjden, enligt Figur 5-13. Resultatet har jämförts med höjdinformationen som finns i det normaliserade laserpunktmolnet och bilden av trädhöjdens fördelning är mycket snarlik.

Dessa kontinuerliga data kan sedan grupperas i, enligt naturvården, meningsfulla intervall för att kunna användas inom miljöövervakningen, se Figur 5-14. Fördelen är att denna skattning är dyna-

misk och att man därför kan ändra definition av träd och buskar fritt. Utvecklingsarbetet har endast påbörjats för att få ett kraftfullt verktyg.



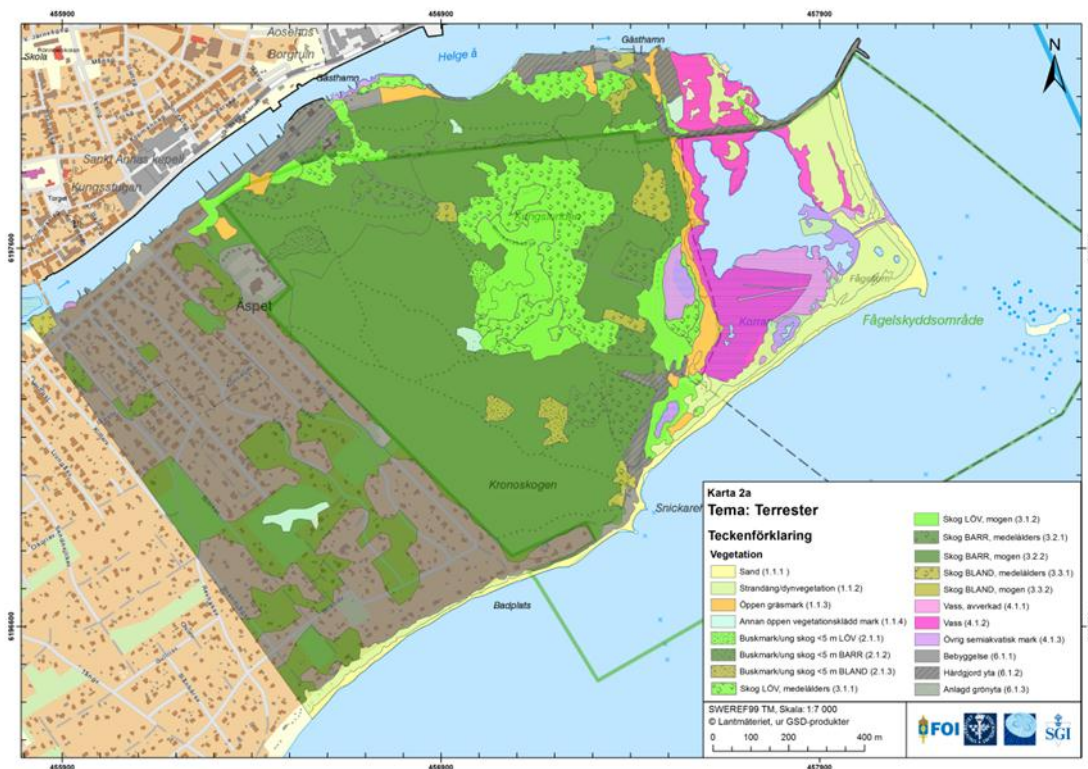
Figur 5-13 Krontaksmodell som tagits fram genom matchning av Lantmäteriets IRF-flygbilder (4 800 m flyghöjd). De högsta ädellövträdsdungarna (rött) har en höjd på 25-30 m. Maxhöjden 46,2 m kan vara felaktigt värde.



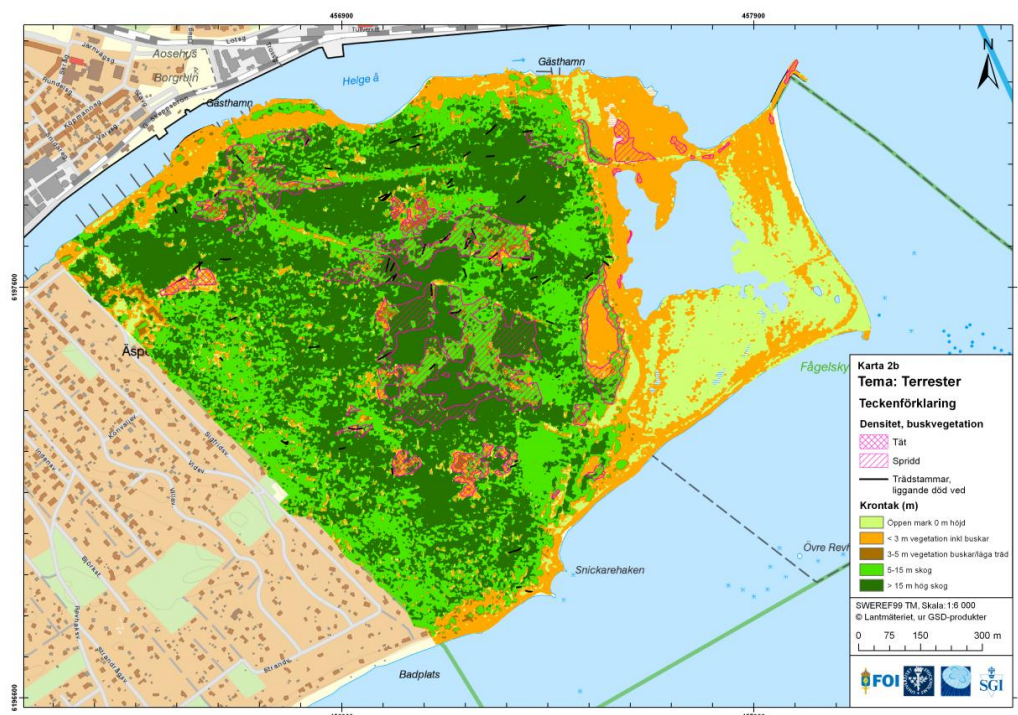
Figur 5-14 Krontaksmodell (från Figur 5-13) omklassad till ett begränsat antal höjdivtervall för att illustrera fördelningen öppen mark och skog. Notera att indelningen inte ger en rättvisande bild av vad som är buskmark och vad som är fältskikt.

5.4 Från vegetationskarta till komplex vegetationsdatabas

Inledningsvis genomfördes en visuell manuell flygbildstolkning av terrester vegetation i Lantmäteriets DMC IRF-flygbilder (Figur 5-15). Denna traditionella karta saknar många viktiga uppgifter om vegetationens struktur och egenskaper som i detta projekt har kunnat tolkas visuellt ur det fil-trerade laserpunktmolnet. Det fortsatta arbetet har därför varit att berika denna baskarta med tilläggsinformation som man bara kan fånga i laserdata (Figur 5-16).



Figur 5-15 Visuellt tolkad terrester vegetation ur DMC IRF-bilder. Underlagskarta: Tätortskartan (© Lantmäteriet).



Figur 5-16 Figuren visar en samlad bild av den typ av tilläggsinformation som manuella och semiautomatiska metoder, baserade på bearbetningar av laserdata och digitala flygbilder ger. Denna information är generellt svår, eller omöjlig, att enbart klassa ur flygbilder.

I takt med att informationen i databasen blir alltmer komplex blir det svårt att redovisa detta i en samlad karta. I den integrerade delen i denna studie som beskrivs i Kapitel 7 har ambitionen varit att samla så mycket information som möjligt i en enda kartutskrift (Figur 7-2). Det är viktigt att diskutera användning av komplexa geodatabaser och hur de kan illustreras. Denna aspekt diskuteras vidare i Kapitel 7.

6 Beskrivning av erosionsförhållanden

6.1 Stranderosion längs Åhuskusten

6.1.1 Uppföljning av stranderosion

Stranderosion orsakar på många platser stora skador och medför omfattande ekonomiska förluster. För att skydda investeringar i form av byggnader och anläggningar liksom för turistindustrin värdefulla områden kan åtgärder behöva vidtas. Detta gäller för stora delar av kuststräckan i Kristianstads kommun. För sådana områden är sedimenttransport en avgörande fråga, både för att klarlägga i vilken utsträckning sedimenten eroderar och ackumuleras men också för att få underlag till åtgärder för att begränsa erosionen. Det behövs då bland annat mätningar av havsbottens nivåförhållanden för att klargöra dessa förhållanden.

Kristianstads kommun har vid olika tillfällen utfört mätningar av nivåförhållanden och havsbotten i några mätsektioner i Åhus. På uppdrag av kommunen upprättade SGI ett mätprogram för långsiktig uppföljning av förändringar av bottennivåer (SGI, 2007). I detta program föreslogs att basmätningar borde göras kompletterat med årliga mätningar. Basmätningen utgör en heltäckande mätning av topografi och batymetri som utgångspunkt och referens för kommande årliga mätningar. Mätningarna utförs yttäckande och bör utföras med ca 5 års intervall. Basmätningen kan utföras genom laserskanning från flygplan eller akustiska metoder från fartyg (multibeam).

Mellan basmätningarna bör utföras årliga mätningar i profiler, vinkelrätt mot strandlinjen och med samma utsträckning på land och i havet som vid basmätningen.

Kristianstads kommun har sedan 2008 utfört årliga mätningar i 10 sektioner genom multibeammätning. I samverkan med EMMA-programmet och med stöd av Naturvårdsverket genomfördes under 2010 en basmätning av topografi och batymetri med laserskanning för en del av kuststräckan vid Åhus.

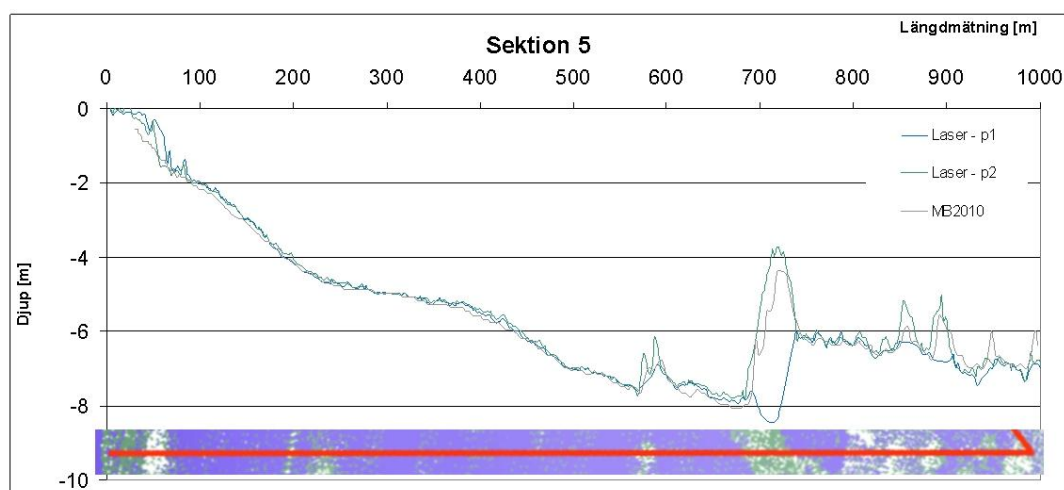
6.1.2 Resultat av mätningar

Sammanfattningsvis visar mätningarna att de största variationerna av bottennivåer förekommer i områden där vattendjupet är mindre än 2 m. Detta kan vara effekter av erosion och sedimentation av material och revelbildningar har konstaterats i området närmast stranden i den södra delen av kuststräckan.

Mätningarna visar ingen påtaglig förändring av bottennivåer inbördes mellan de tre olika mätplatserna (Yngsjö, Äspet och Östra Sand/Täppet) under de fyra år som mätningar utförts. Det innebär att inga slutsatser kan dras om sedimenttransporten längs kusten med utgångspunkt från enbart dessa mätningar.

Bottennivåerna varierar främst i områden nära stranden men mätdata saknas närmast strandlinjen. En avvägning/nivåmätning av strandplanet och grunda vattenområden (mindre än ca 1 m) bör göras i samband med kommande multibeammätningar.

Jämförelsen mellan mätningar med laserskanning och mätning med multibeam visar för huvuddelen av mätsektionerna god överensstämmelse. I några punkter finns avvikelser framförallt beroende på att det inom dessa områden finns begränsade mätdata, se Figur 6-1. Detta kan vara en följd antingen av att läget för mätsektionerna i plan kan skilja sig mellan mätningarna eller att mätmetoderna har viss onoggrannhet.



Figur 6-1 Jämförelse mellan laserskanning och multibeammätning i sektion 5 vid Äspet i Åhus. Infällt i diagrammet ses också tätheten i laserdata längs profilen. Lila färg anger punkter från den första processeringen och grön färg där dessa har kompletterats i den andra processeringen (SGI, 2012).

Den yttäckande lasermätningen bedöms vara en väl fungerande basmätning enligt mätprogrammet för Åhuskusten som kan användas för jämförelser efter årliga mätningar i sektioner.

6.2 Övervakning av stranderosion

Det finns flera förhållanden som påverkar erosion längs stränder. I det aktuella området vid Åhus utgörs kusten av flacka sandstränder med dynamråden som i stor utsträckning är vegetationsbeklädda. Äspets läge vid utloppet till Helge å där vattenflödet i sig tillsammans med båttrafik till och från industrier i Åhus medför att miljön är extremt föränderlig med erosion och omfördelning av bottenmassor. Enligt Äspets bevarandeplan (2005-12-16) har man studerat äldre flygbilder och historiska kartor och därmed sett att kustlinjen har byggts på betydligt sedan 1800-talets början.

I en studie för att undersöka möjligheterna att använda satellitbilder för övervakning och uppföljning av stranderosion definierades tolv olika indikatorer för förändringar i strandnära områden (Rydell et al., 2010). Dessa indikatorer kan användas för tolkning av de kustprocesser som sker, vilket utgör grund för exempelvis bebyggelseplanering eller anpassning till klimatförändringar.

Nedan beskrivs kortfattat de tolv indikatorerna. För närmare beskrivning av vilken typ av förändring som kan förväntas samt möjligheter och begränsningar i att identifiera förändringar med fjärranalys, främst med satellitbilder, hänvisas till Rydell et al., 2010.

Genom kombination av digitala flygbilder och laserskanning bedöms indikatorer på erosion kunna värderas ännu bättre än med satellitbilder. För att följa utvecklingen av stranderosion erfordras data från olika tidpunkter, t.ex. flygbilder och mätningar av topografiska och batymetriska förhållanden. Det har inte ingått i detta projekt att göra sådana jämförelser.

6.2.1 Dyner

Dyner utgörs av sediment som transporterats och avlagrats av vinden, se Figur 6-2. Dyner bildas av vinden, men påverkas även av vågor, som flyttar sanden ut från land. Vid kraftig vind och höga vattennivåer kan stora delar av dyner påverkas och ras utbildas i slänterna. Detta innebär att dynernas bredd och höjd kan förändras. Vegetation binder sanden och förhindrar erosion, men skadas vegetationen kan erosionsprocessen öka och landskapet förändras. Över längre tid kan studeras hur dynlandskapet förändras genom att jämföra laserskanning och flygbilder från olika tidpunkter.



Figur 6-2 Dynlandskap vid Sandhammaren, Ystads kommun. Foto: Metria.

6.2.2 Strandvallar

Strandvallar förekommer som vallformade bildningar bestående av platta stenar, grus och sand, som transporterats upp av vågsvall eller vinteris ovanför och parallellt med strandlinjen. Strandvallar kan variera i storlek från några decimeter till flera meter i höjd. De förekommer ofta i serie över varandra, varvid de ofta vittnar om tidigare vattennivåer. Ett exempel på strandvallar finns i Figur 6-3.

Strandvallar påverkas av abrasion från vågor. Det finare materialet följer med vågorna ut och sedymenterar på större djup och det grövre materialet stannar kvar på land. Vid lågvatten kan man se strandvallar med olika åldrar och även ett 100-tal meter upp på land. Detta innebär att vallarnas planläge och utbredning förändras med tiden och kan identifieras genom tolkning av flygbilder.



Figur 6-3 Moränstrand med strandvallsformation av sand ovanför strandlinjen vid Östra Hammaren, norr om Åhus. Foto: SGU

6.2.3 Diken, vattendrag och raviner

Ett dike är en långsmal grävd eller schaktad fördjupning i jord eller berg, avsedd för bortledning av vatten. En ravin är en dalgång som har bildats genom att ett vattendrag har eroderat i lösa avlagringar. Ravinen skiljer sig emellertid från dalar och är vanligen en relativt brant landformation (ofta mellan 20-70 % lutning på slänterna). Bildning av erosionsärr, blottade ytor i slänter orsakade av strömmande vatten eller genom ytavrinning från t.ex. snösmältning eller intensiva regn är exempel på förändringar. Även mänsklig påverkan genom borttagning av vegetationstäcket eller avverkning av träd kan påverka erosionen i slänterna. Vinden kan påverka genom att träd stormfälls och det bildas gropar med bar jord i slänterna. Sådana förändringar kan med fördel identifieras genom att jämföra flygbilder från olika tidpunkter. I trädklädd terräng kommer laserdata att medföra stora förbättringar i kartering av dessa företeelser.

6.2.4 Topografi

Förhållanden som underlättar tolkning av erosion är exempelvis distinkta topografiska brytningar, brant topografi och ett begränsat antal ytformer. Detta innebär att motsatta förhållanden försvårar tolkningen, dvs. diffusa topografiska förändringar, flack topografi och många olika ytformer. Nivåförändringar i landskapet uppkommer genom erosion av vind, vatten och is, jfr Figur 6-4. Figuren visar ett strandområde med erosionsbranter efter en storm med samtidigt högt vattenstånd. Ett ungt landskap med brant topografi mognar med åren och får naturligt ett mer utjämnat och flackt utseende genom jordrörelser som ras, skred och erosion.



Figur 6-4 Stranderosion i Löderup. Foto: Ystads kommun.

6.2.5 Vegetation – land

Vegetationen, dess sammansättning och utbredning beror på ett flertal faktorer, bl.a. jordart, fuktighet, klimat och omgivande vegetation, de så kallade ståndortsfaktorerna. Men lika stor, eller ofta betydligt större inverkan, har pågående eller tidigare markanvändning och kulturpåverkan. Då betingelserna förändras, ändras också typen av vegetation och utseendet på vegetationen.

Förändringar av vegetationen kan med fördel identifieras på liknande sätt som annan vegetation, se Kapitel 5. När det gäller förändringsstudier är dock flera faktorer av avgörande betydelse. För det första kan fotograferingstidpunkten försvåra analysen om vegetationen är i olika säsongsbundna faser. Detta problem är särskilt stort vid automatiska klassificeringar då vegetationen kan vara oförändrad trots att dess spektrala signatur är avsevärt avvikande. För det andra bygger all förändring på att ändrade förhållanden kan karteras. Här kommer klassificeringssystem och detaljeringsnivå in genom att förändringar i verkligheten inte alltid är abrupta utan gradvisa och därmed svåra att upptäcka. Hur man definierar sina klasser har avgörande betydelse för förmågan att upptäcka och visa på förändringar. Klassdefinitionerna styr i allt väsentligt när en vegetationstyp övergår i en annan och då all vegetation innehåller visst mått av variation, måste den som övervakar förändring vara mycket uppmärksam på var variation övergår i en reell förändring. Det är ofta förhållandevis enkelt att se förändringar i flygbilder och ute i naturen, men det är betydligt svårare att systematiskt övervaka dessa systematiskt.

6.2.6 Markanvändning

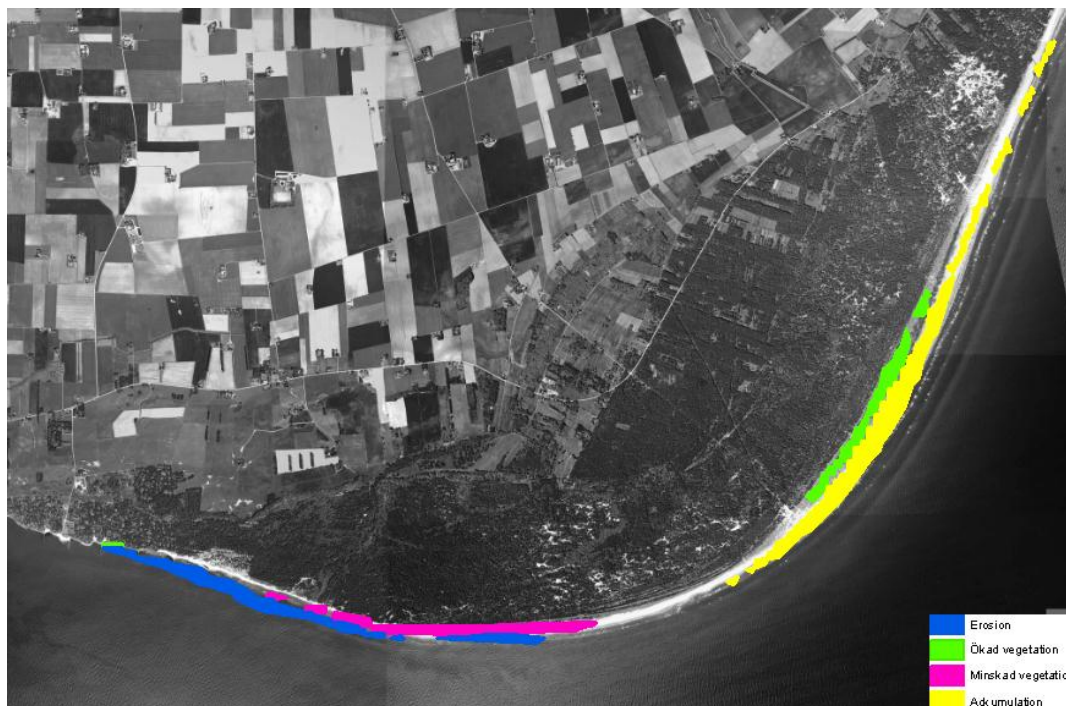
Markens användning förändras främst genom människans utnyttjande av mark för olika ändamål (t.ex. åkermark, vägar, bebyggelse, flygplatser etc.) I gleset bebodda områden brukar man också räkna in den naturliga eller kulturpåverkade vegetationen. Då markanvändningen ändras, t.ex. vid exploatering (hårdgjorda ytor, dränering m.m.) eller om den orsakats av klimatförändring (torrare eller fuktigare förhållanden) ändras också markytans utseende. Även förändringar i markanvändningen kan identifieras med flygbilder från olika tidpunkter.

I Äspet finns olika slag av markanvändning som direkt och indirekt påverkar områdets utseende och gradvisa utveckling. På land påverkas området av såväl skogsbruk som naturvårdsåtgärder (i den trädklädda delen), ute i strandängen och lagunen pågår beteshävd för att hålla strandängen och lagunen öppen och fri från igenväxande vassvegetation, buskar och på sikt skog. Sedan EMMA-programmet startades 2010 har noterats stora förändringar i den öppna strandängen, där vassbekämpning genom rotbehandling och efterföljande bete ser ut att ha stor gynnsam effekt på den öppna strandängen.

6.2.7 Strandlinje

Strandlinjen utgör gränsen mellan land och hav eller mellan land och sjö, i naturvetenskapliga sammanhang vanligtvis en antagen nivå som sammanfaller med medelvattenytan. Något ovanför strandlinjen kan olika strandmärken bildas, t.ex. strandhak och strandvallar. Vid extrema vädersituationer och högvatten kan strandmärken bildas på ännu högre nivåer. Dessa markerar då en stormstrandlinje. Strandlinjen varierar med vattenståndet i havet eller i en sjö, högvatten- normal- eller lågvattenyta, den morfologiska utformningen av kusten och jordens egenskaper. Kustens morfologi förändras genom erosion, ackumulation samt byggnation (t.ex. erosionsförebyggande åtgärder).

Ett sådant exempel illustreras i Figur 6-5, där strandlinjens förändring studerats i satellitbilder. Motsvarande analys kan göras med flygbilder. Den integrerade höjd- och djupmodellen baserad på laserdata vid Äspet är användbar för att beräkna strandlinjens läge för olika vattenstånd. Framtida lasermätningar kan därvid användas för att dokumentera förflyttning av strandlinjen (relativt olika vattenstånd).



Figur 6-5 Förändringar av kusten vid Löderup-Sandhammaren i Ystads kommun mellan 1989 och 1999 genom objektbaserad förändringsanalys i Landsatdata. Förändringar har indelats i fyra klasser: erosion, ackumulation, ökad respektive minskad vegetation. Bilden visar både stor erosion med stora strandlinjeförändringar och utrasad sand vid Löderup samt både ackumulation av sand och en ökad vegetation på sanddyner vid Sandhammaren. Källa: Rydell et al., 2010.

Strandlinjen förändras över tiden och kan med fördel studeras i flygbilder. En analys av förändringar i Äspet har gjorts med utgångspunkt från digitala flygbilder (DMC IRF) enligt Figur 6-6. Notera hur utseendet på bottnar med bar sand varierar kraftigt mellan tidpunkterna för fotografering. Strandlinjens läge är beroende av vattennivån i havet, vilket inte beaktats i detta exempel. Avsikten har här varit att illustrera möjligheterna till analys av förändringar.

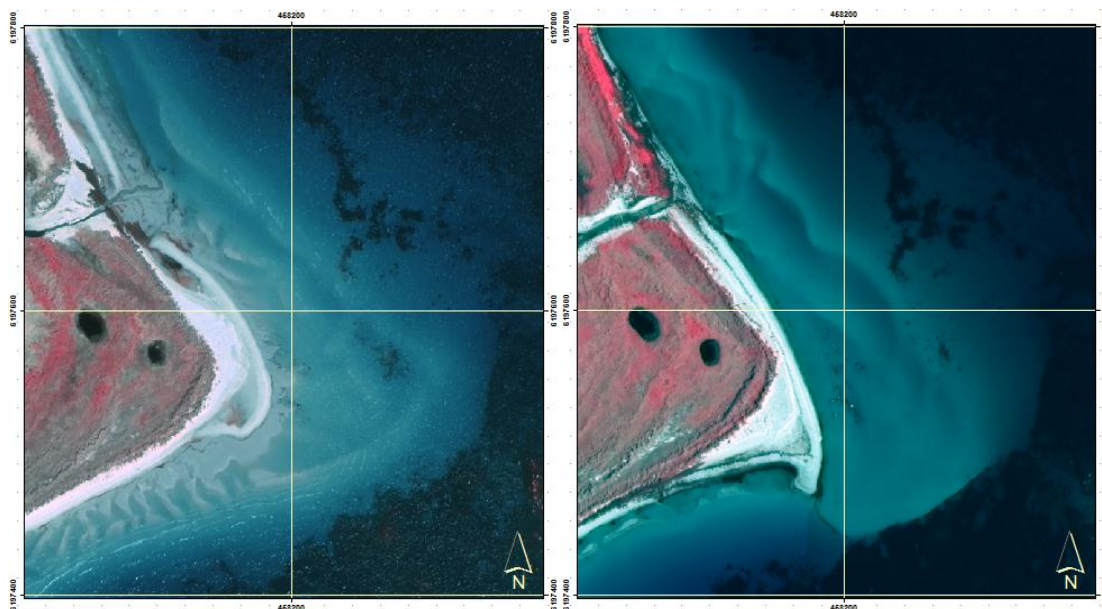


Bild från 2007-05-06

Bild från 2010-06-04

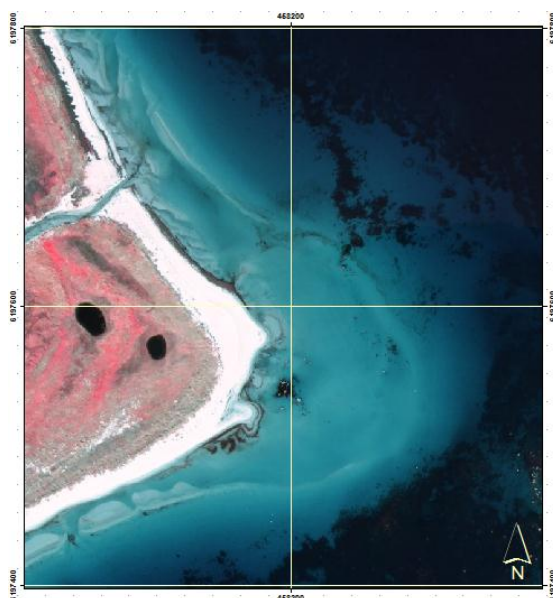
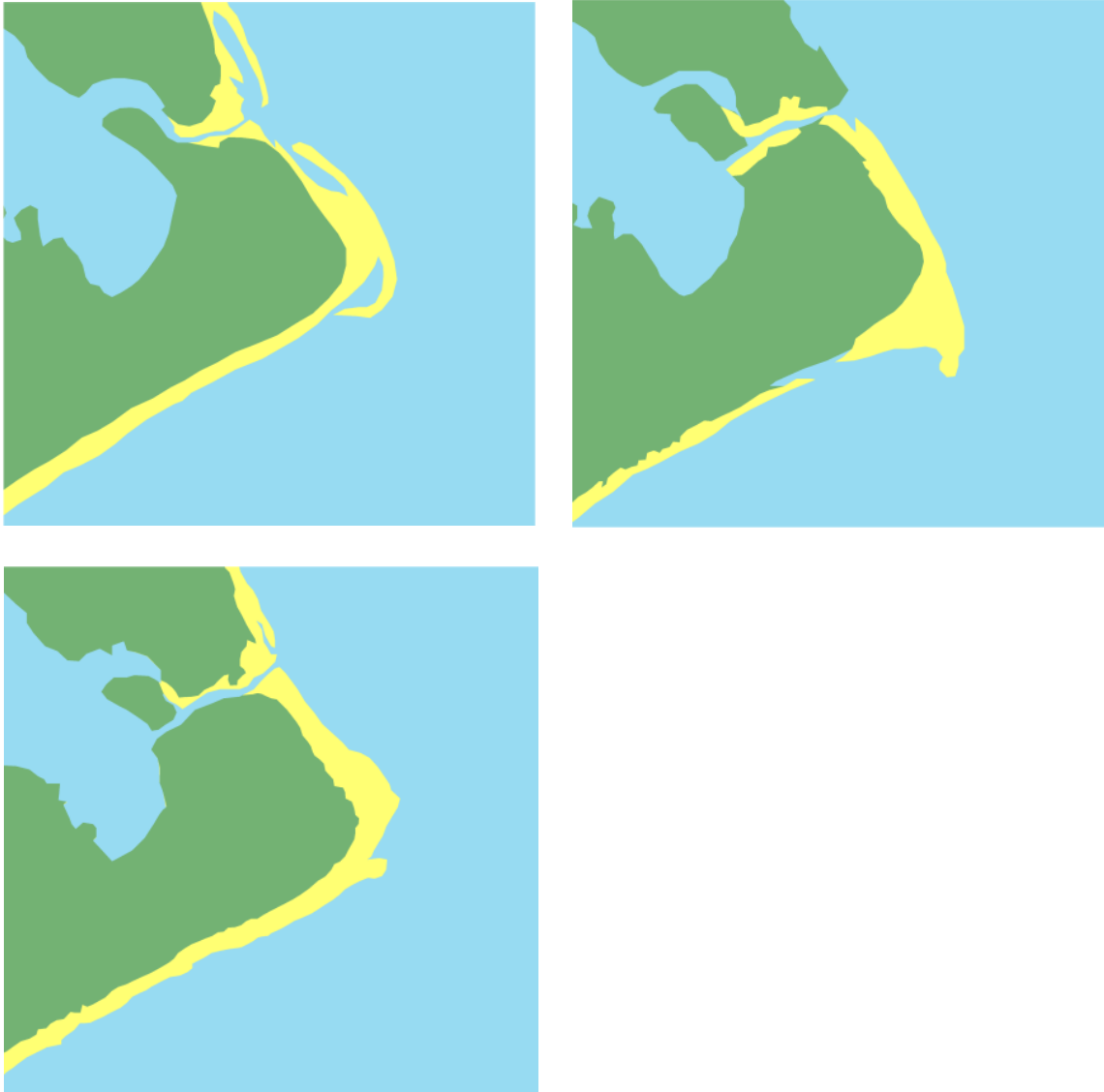


Bild från 2012-05-03

Figur 6-6 Utsnitt ur ortofoton över näset i Äspet med 3 respektive 2 års mellanrum. Här syns tydligt hur dynamisk strandlinjen är med dess revlar och sandbankar. © Lantmäteriet.

I ett första steg generaliserades bilderna i ArcMAP med redovisning av tre fält: vegetation, sand respektive vatten, se Figur 6-7. Tolkningssvårigheter, främst i gränsen mellan land och vatten, kan ha medfört vissa fel.

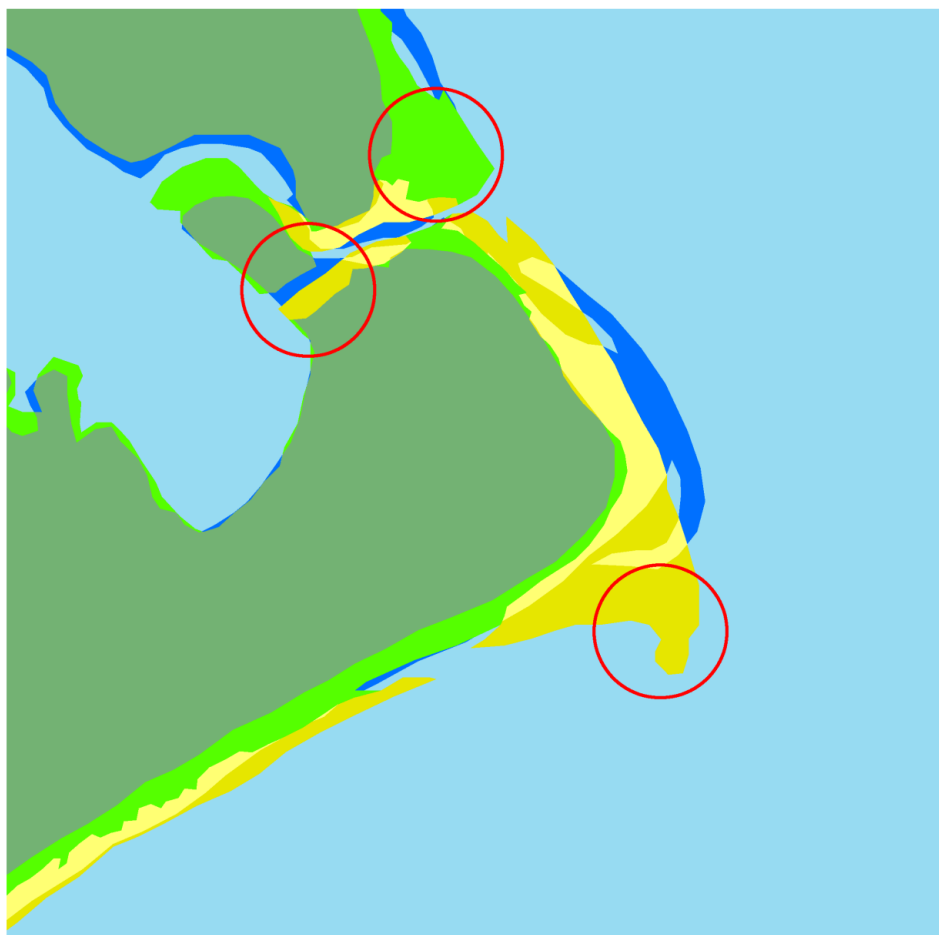


Figur 6-7 Generaliserade bilder där grönt anger vegetation, gult anger sand och blått anger vatten.

Förändringen mellan år 2007 och 2010 visas i Figur 6-8, där det kan konstateras att:

- I den norra delen av området har vegetation etablerats på ytor som tidigare bestod av sand och/eller vatten (trots tydlig erosion direkt söder därom).
- Vattendraget har funnit ett nytt utlopp, eventuell utfört genom grävning.
- Sand har eroderats från området direkt söder om vattendragets utlopp och ackumulerats på näset samt söder därom.

Det är emellertid tveksamt om vegetation kan ha etablerats på nya sandytor under tiden mellan 2007-2010 längs den södra kuststräckan. Det kan eventuellt vara en effekt av att erosionen har fått dynvalkar att kollapsa och på så sätt glider vegetationsklädda ytor ner och flyttar kanten i sidled. I bilden från 2011 är de dessutom bortspolade igen.

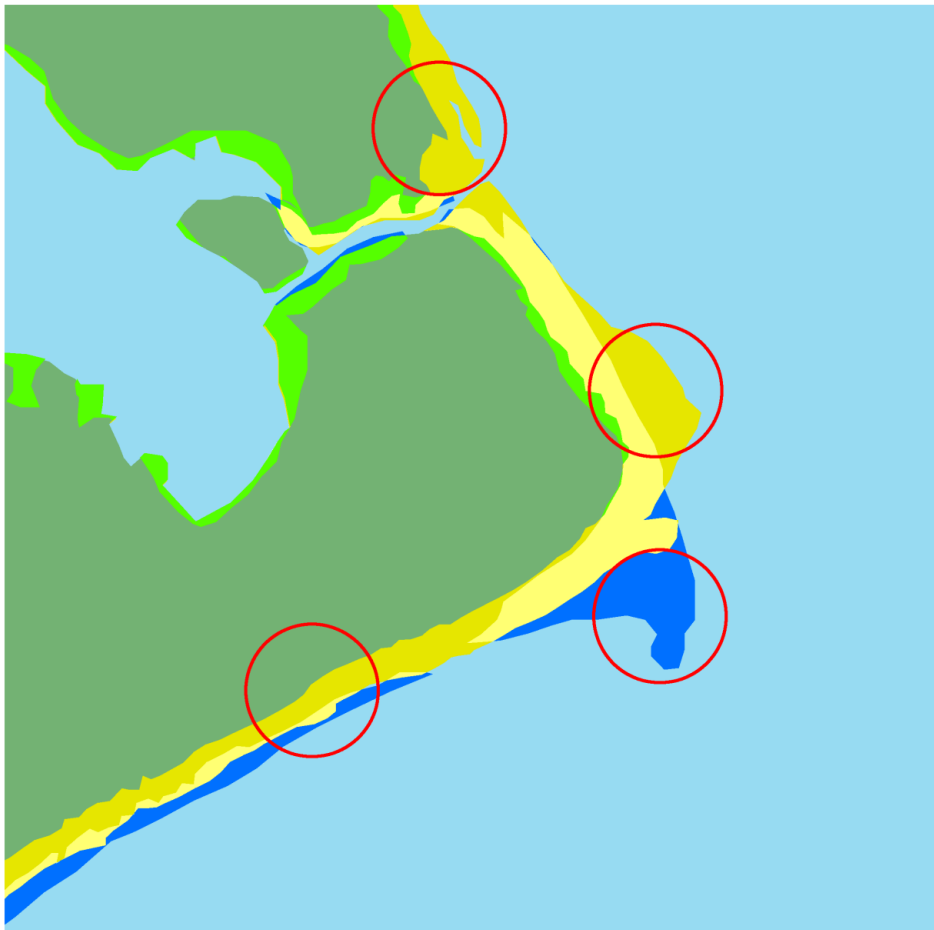


Figur 6-8 Jämförelse av förändringar mellan år 2007 och 2010. Den ljusgröna färgen anger ny vegetation, den mörkare gula färgen anger ny sand och den mörkare blå färgen anger ny vattenyta. De röda cirklarna visar områden där förändringarna är markanta.

Förändringen mellan år 2010 och 2012 visas i Figur 6-9. Det generella intrycket är att utvecklingen har vänt och att förhållandena mer liknar de som rådde 2007. Man bör särskilt notera:

- I den norra delen av området har stora delar av vegetationsområdet 2010 försvunnit.
- Sand har ackumulerats direkt norr om näset och den bank som tidigare hade byggts upp är åter borta.
- Strandlinjen i den södra delen av området har retirerat, liksom den tidigare (2010) nyetablerade vegetationen.

Det är anmärkningsvärt att den vegetation som fanns norr om lagunens utlopp 2010 har försvunnit igen. En förklaring kan vara att tångbankar fösts ihop med andra växtdelar och att något gräs eller ört har fått en extrem gödslingsseffekt och blossat upp. Sannolikt har anläggningsarbeten gjorts i utloppet från lagunen.



Figur 6-9 Jämförelse mellan 2010 och 2012. Den ljusgröna färgen anger ny vegetation, den mörkare gula färgen anger ny sand och den mörkare blå färgen anger ny vattenyta. De röda cirklarna visar områden där förändringarna är markanta.

Det bör observeras att det inte går att dra för långtgående slutsatser om förändringar utifrån analysen ovan. Det krävs kontroll i fält för att verifiera förändringar. Analysen illustrerar emellertid möjligheten att identifiera förändringar över tiden i strandnära områden.

6.2.8 Erosion

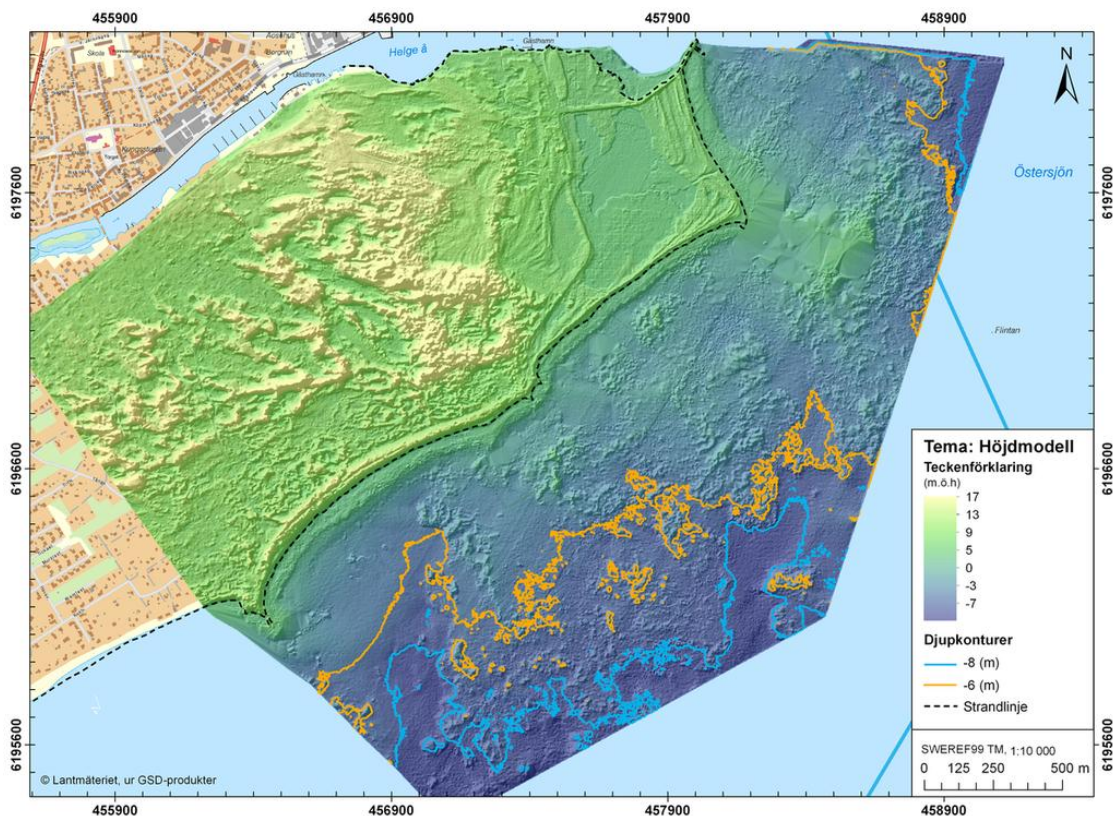
Erosion är den nednötning och transport av jord och berg som orsakas av vind, rinnande vatten, vågor, glaciärer och gravitationsrörelser. Vågerosion, abrasion, sker vid öppna stränder, särskilt vid extrema stormar och högt vattenstånd. Vågorna kan då skära ut strandhak i strandbrinken.

Erosionsaktiviteten kan variera och man kan dela in den i fyra olika nivåer:

- Stor aktivitet (stora vegetationsfria områden; många starkt lutande eller nedfallna träd; grumling av vattnet utanför, skada kan förekomma).
- Måttlig aktivitet (små vegetationsfria områden; lutande träd kan förekomma).
- Ringa aktivitet (få vegetationsfria ytor; lutande träd kan ha uppåtväxande topp).
- Lågt skada.

Sand är lätteroaderad och erosion förekommer på olika sätt. Vid erosion i en sandslänts nedre del rasar sanden i släntens övre del ner. Sandslänters lutning motsvarar den s.k. rasvinkeln. Silt är också lätteroaderad, men genom kapillärkrafter, s.k. falsk kohesion, kan siltslänter ofta stå med brantare lutning än sandslänter. Lera eroderas inte partikel för partikel utan genom att klumpar eller ytskikt bryts loss, främst i vattenlinjen.

Det är framförallt vågor till följd av vind som orsakar erosion på botten och stränder vid kuster. På större djup påverkar inte vågorna botten och det största djup dit vågor och strömmar inte förmår åstadkomma några förändringar i bottenprofilen kallas förändringsdjupet. I Åhusområdet är detta djup ca 6-8 m. Läget för förändringsdjupet framgår exempelvis av en integrerad djupmodell enligt Figur 6-10.



Figur 6-10 Integrerad djup- och höjdmodell över kustområdet vid Äspet, Åhus.

6.2.9 Ackumulation

Ackumulation innebär avsättning av material genom olika sedimentationsprocesser. Ackumulation avser såväl avlagringsprocessen som den uppkomna avlagringen. När material (silt, sand och grus) avlagras kan nya landområden, näs och uddar bildas, vilket kan identifieras som en förändring av strandlinjen. Under vattenytan kan material avlagras som revlar och bankar, se Avsnitt 6.2.12.

6.2.10 Erosionsskydd

Syftet med erosionsskydd är att begränsa och förhindra erosionsangrepp på stränderna genom att:

- Utgöra en barriär mellan vattnet och det erosionsbenägna strandmaterialet.
- Dämpa energin i vågor och strömmar innan de når stränderna.
- Styra dels vattenströmmar, dels sedimentationsströmmar på ett sådant sätt att en önskvärd och förutsägbar transport och sedimentation sker av materialet.

Exempel på erosionsskydd är hövder, strandskoningar, sponter och kajliknande konstruktioner, friliggande vågbrytare, strandfodring (artificiell sandtillförsel) och vegetation. Ett exempel visas i Figur 6-11. Förändringar genom att nya erosionsskydd tillkommer och tidigare skydd försvinner kan identifieras i flygbilder.



Figur 6-11 Vy från stranden i Ystad med hövder och vågbrytare. Foto: Metria.

6.2.11 Vegetation i vatten

Vegetation i strandlinjen och i grundare vattenområden kan vara en indikation på att det förekommer ackumulation utmed stranden. Vegetation i vatten indikerar även indirekt bottenbottentyp genom att hårdbottnar nästan uteslutande är vegetationsbeksidda och därmed urskiljbara mot eroderande sandbottnar som i mindre utsträckning har vegetation. Mjukbottnar med vegetation indikerar även områden som inte heller är utsatta för erosion. Vegetationstypen kan förändras beroende på läget i

terrängen, vattnets salthalt, vattenkvalitet, ljusförhållanden m.m. Utbredningen beror av läget i terrängen, vindförhållanden, djupförhållanden, föroreningar och andra faktorer.

Analys av förändringar med tiden av vegetation på botten under vatten kan göras på liknande sätt som på land, se Avsnitt 6.2.5.

6.2.12 Revlar och bankar

En revel är en liten, smal och långsträckt sand-, grus- eller stenbank som byggts upp på grunt vatten, från eller utmed stranden genom vågors eller strömmars inverkan. En revels form och läge ändras ständigt och följer skiftningarna i vattenmiljöns dynamik. Bränningsrevlar och surfrevlar uppstår när vågorna bryter över en uppgrundande botten, varvid sedimenten sorteras efter kornstorlek. En bank är en ansamling av sand eller grus i ett vattendrag eller hav, från några meter till flera kilometer lång. Förändringar uppkommer genom att material avlagras och nya revlar och bankar kan utbildas och andra kan försvinna. Förekomst, planläge och utbredning är beroende av bl.a. materialegenskaper, materialtillgång, vågornas intensitet, vattendjup och läget i terrängen, se även Avsnitt 6.2.7.

6.3 Diskussion

Ett syfte med projektet har varit undersöka möjligheterna att använda laserskanning och digitala flygbilder för att identifiera och övervaka erosion och sedimenttransport i kustområden. Resultatet visar att det finns förutsättningar för att genom direkta och indirekta indikatorer översiktligt beskriva förändringar längs kustområden när det gäller erosion och sedimentation såväl på land som i vatten.

Förändringar i kustzonen kan direkt eller indirekt indikera erosionskänsliga områden. Förändringar som direkt indikerar erosion eller sedimentation är t.ex. förändringar i batymetri, strandlinjer, dytbildningar och marknivåer på land samt mänskliga aktiviteter som muddring, stabilisering av stränder eller strandnära bebyggelse. Indirekta indikationer på erosionskänslighet är t.ex. förändringar i vegetationstäckning både på land och i vatten.

Vid möte med användargrupper fanns önskemål från kommuner och länsstyrelser om en heltäckande kartredovisning av vilka områden som är utsatta för erosion. En stor del av erosionen sker på botten under vattenytan och kan identifieras genom regelbundna batymeteriska mätningar. Det finns möjligheter att vidareutveckla metodik för att identifiera tecken på erosion, exempelvis stabila substrat eller vegetation i vattenområden.

I en tidigare studie om användning av satellitbilder bedömdes att den främsta tillämpningen var att kunna indikera inom vilka områden som erosion eller ackumulation av sediment pågår. Sådana områden kan vara relativt grovt avgränsade och användas för att bestämma var mer detaljerade undersökningar av erosionskänsliga områden behöver göras. Kustavsnitt som har förändrats av andra orsaker, t.ex. antropogen påverkan kan identifieras.

Möjligheterna till mer detaljerad kartering med hjälp av satellitbilder är emellertid begränsade, då upplösningen i bilderna inte är tillräckligt för att i detalj beskriva kustförändringar, t.ex. volym av förändrade dyner eller detaljerade topografiska och batymetriska förändringar. För detaljerade inventeringar och analyser finns då möjligheten att komplettera den översiktliga analysen med satellitbilder genom att använda laserskanning och digitala flygbilder kompletterat med och olika fältundersökningar. Laserskanning på land och i vatten, akustiska mätningar eller detaljerade fältmätningar behövs för få underlag till vilka olika typer av åtgärder som ska väljas.

En intressant modell för övervakning av förändringar inom strandnära områden är ett övervakningssystem med kombination av olika typer av fjärranalys, där metoder väljs beroende på detaljningsnivå och syfte. Fjärranalys med satellitbilder bedöms ha en stor potential för att översiktligt och kostnadseffektivt kunna studera förändringar och utvecklingstendenser av strandnära områden. Inom bedömda och avgränsade riskområden kan därefter mer detaljerad analys göras med laserskanning och digitala flygbilder.

Ett sådant övervakningssystem baserat på fjärranalys skulle kunna indikera var områden med kusterosion eller sedimentation pågår. Övervakningen kan göras regelbundet, exempelvis vart annat till vart tredje år och täcka ett större kustområde. Indikerade områden kan vara relativt grovt avgränsade och användas som ett underlag för att klargöra behov av närmare undersökningar av erosionskänsliga områden i fält. Det finns anledning att fortsätta utvecklingsarbetet för att se förutsättningar för ett sådant övervakningssystem. I en sådan mer detaljerad studie kan närmare klargöras med vilken noggrannhet förändringar i plan kan karteras och kvantifieras i jämförelse med befintliga metoder samt hur en sådan metod kan ersätta eller komplettera dessa metoder. Här bör också ingå att värdera och jämföra kostnader och nytta med olika metoder i relation till behovet av information om förhållandena i kustområden.

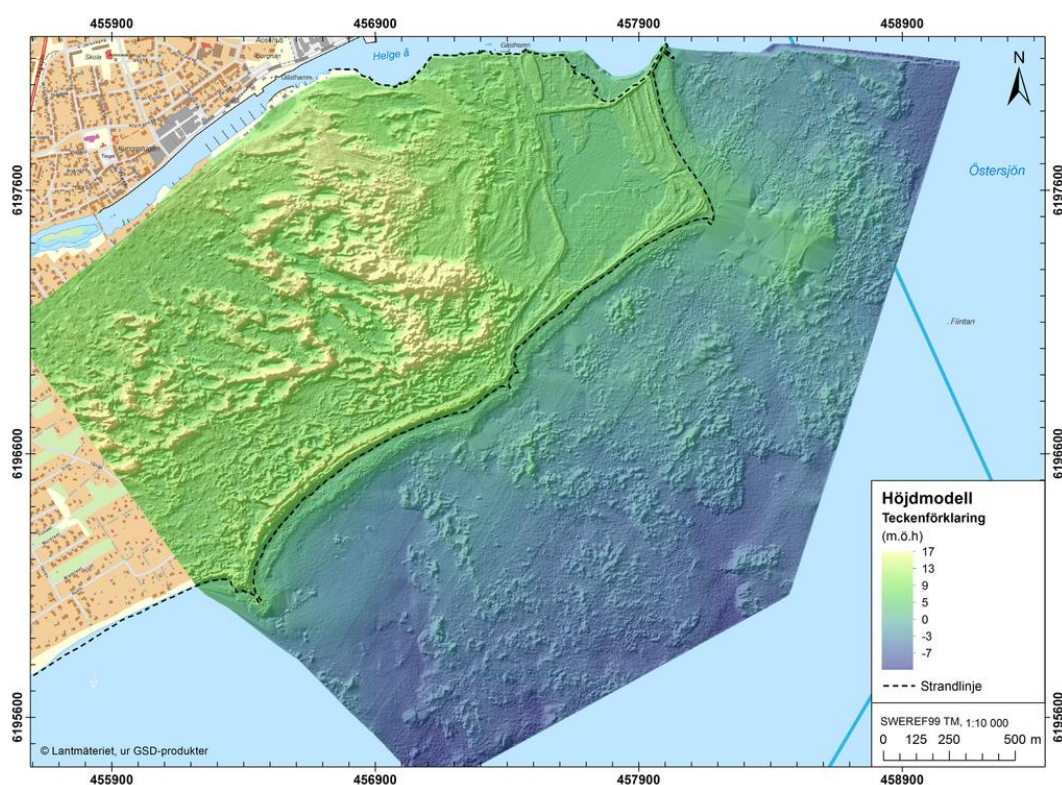
Utvecklingsarbetet bör bedrivas utifrån ett användarperspektiv och förslagsvis genomföras som praktiska tillämpningar i samarbete med kommuner och länsstyrelser.

7 Kustområdet ur ett samlat perspektiv

Syftet med studien av kustzonen i Åhus har varit att ge en samlad bild av hur en framtida vegetationskartering som täcker både land och vatten kan se ut. Nedan presenteras ett par exempel på sammanläggning av data som på flera sätt kan utgöra viktiga arbetsredskap för naturvård och miljöövervakning i kustzonen.

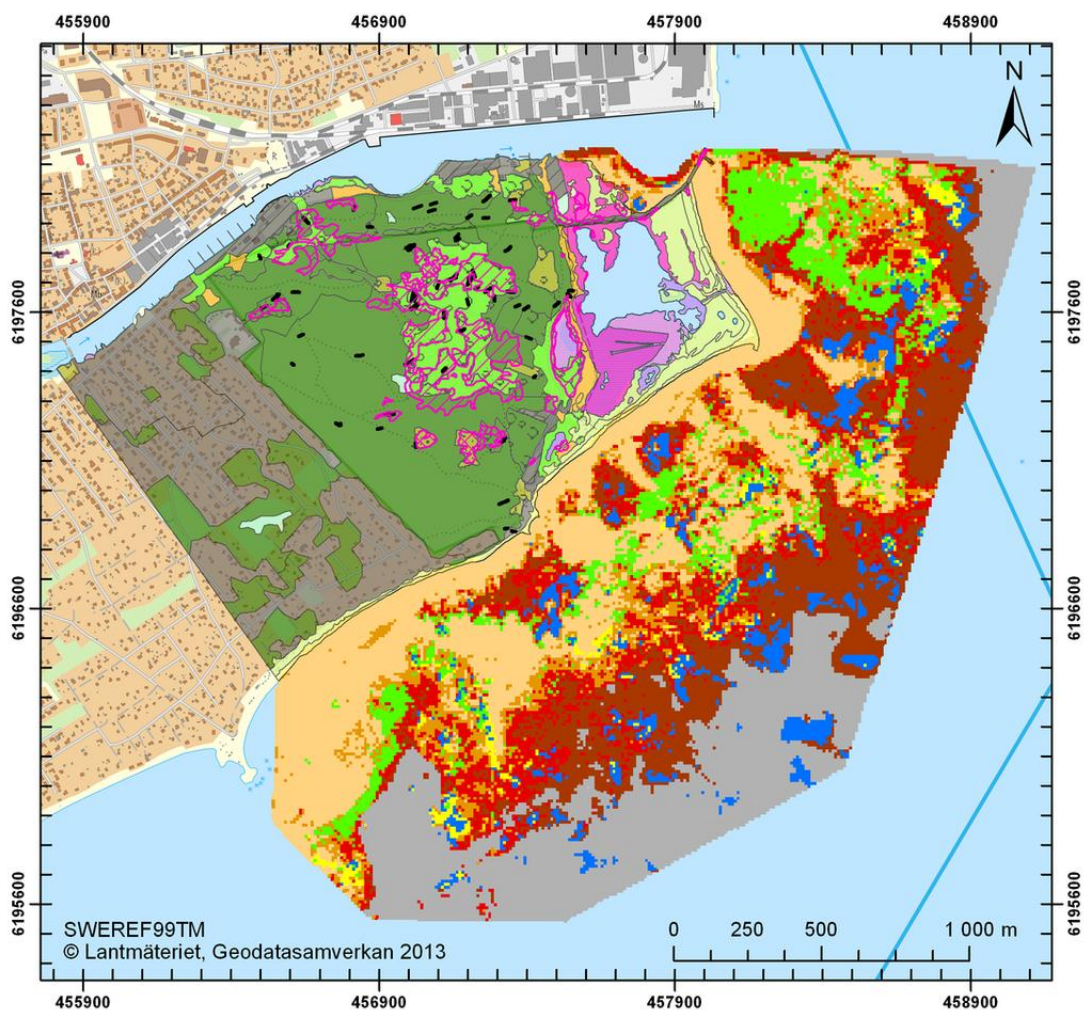
7.1 Integrerad redovisning av land och vatten

Det första exemplet är en sammanläggning av Lantmäteriets nationella höjdmodell (NNH-data) med bottenmodellen framtagen från den batymetriska laserskanningen varigenom en detaljerad och integrerad djup- och höjdmodell har upprättats, se Figur 7-1. Med en sådan modell etablerad i GIS har man stora möjligheter att simulera graden av olika hot som t.ex. framtida översvämningar och erosion. En sådan modell krävs också för att man ska kunna göra ortofoton från digitala flygbilder som även omfattar bottenmiljön. Man kan även analysera hur kusten förändras med olika havsnivåer och andra påverkansfaktorer. Värdet av den integrerade djup- och höjdmodellen kom tydligt fram i kontakten med användargruppen. Både länsstyrelsen i Skåne och kustkommunerna ser stor nytta med den kombinerade djup- och höjdmodellen, för exempelvis översvämningsprognoser och klimatanpassning av vattensystem.



Figur 7-1 Integrerad djup- och höjdmodell över kustområdet vid Äspet i Åhus.

Det andra exemplet är en sammanläggning av den akvatiska bottenbottentypsklassningen med vegetationskarteringen av terrester och semiakvatisk miljö till en integrerad vegetationsdatabas över land och vatten i kustområden (Figur 7-2). Dagens vegetationskartor har i stort utelämnat vattenområden och först i och med Natura 2000 har man börjat kartera habitat både på land och i vatten i samma kartering. När man lägger ihop tidigare inventeringar från terrestra och akvatiska tillämpningar slås man ofta av hur olika karteringen har utförts, vilket leder till helt olika avgränsningar av vegetations- och naturtyper som inte stämmer överens där hav möter land. Först när man gör en integrerad ansats kan man använda olika data och komplettera de olika klassificeringarna så att man kan få en integrerad bild av hela kustmiljön. Först med stöd av kombinationen flygbilder och terrester samt akvatisk laserskanning finns de verktyg som behövs för att överbrygga denna dynamiska övergångszon.



Figur 7-2 Sammanlagd karta över kustzonen i Äspet i Åhus. Kartan illustrerar projektets överbryggande inriktning och utgör ett förslag till en framtida vegetationskarta som visar såväl terrester som akvatisk vegetation. Se teckenförklaring i Figur 7-3.

Teckenförklaring

Terrester

Vegetation

	Sand (1.1.1)
	Strandäng/dynvegetation (1.1.2)
	Öppen gräsmark (1.1.3)
	Annan öppen vegetationsklädd mark (1.1.4)
	Buskmark/ung skog <5 m LÖV (2.1.1)
	Buskmark/ung skog <5 m BARR (2.1.2)
	Buskmark/ung skog <5 m BLAND (2.1.3)
	Skog LÖV, medelålders (3.1.1)
	Skog LÖV, mogen (3.1.2)
	Skog BARR, medelålders (3.2.1)
	Skog BARR, mogen (3.2.2)
	Skog BLAND, medelålders (3.3.1)
	Skog BLAND, mogen (3.3.2)
	Vass, avverkad (4.1.1)
	Vass (4.1.2)
	Övrig semiakvatisk mark (4.1.3)
	Bebyggelse (6.1.1)
	Hårdgjord yta (6.1.2)
	Anlagd grönyta (6.1.3)

Terrester (forts.)

Densitet, buskvegetation

	Tät
	Spridd
	Trädstammar, liggande död ved

Akvatisk

Bottentyper

	Oklassad
	Hårdbotten (>=90%)
	Blandbotten dominerad av hårbotten (50-90%)
	Blandbotten dominerad av sand (50-90%)
	Sand (>=90%)
	Hög vegetation på sand
	Rev
	Sandbankar

Figur 7-3 Teckenförklaring till sammanlagd karta över kustzonen i Äspet i Åhus i Figur 7-2.

Den sammanlagda vegetationskartan visar också hur skillnaderna mellan land- och vattenmiljön påverkar hur många klasser som är möjliga att avgränsa med underlag från laser och flygbild. Vegetationsklasserna på land definieras i stor utsträckning av förekomst av träd samt trädslag och ålder, samt fuktighetsregim, strukturer som är möjliga att kartera med fjärranalys. För avgränsning av flera naturvärdestillämpningar, exempelvis avgränsning av Natura 2000-naturtyper, kommer man dock långt med informationen om batymetri, bottensubstrat och om det finns vegetation eller inte.

Det är möjligt att en framtida teknikutveckling av aktiva multispektrala instrument kan förbättra möjligheten att kartera vegetationstyper under vatten med fjärranalys. Men innan dess är det viktigt att komplettera en storskalig kartering av grova bottenypsklasser med fältundersökningar genom exempelvis dykning eller undervattensvideo. Sådana undersökningar kan aldrig täcka in mer än en bråkdel av ytan av ett undersökningsområde, men ger i gengäld kompletterande information om vilka arter som förekommer inom området och hur vanliga de är.

7.2 Användningsmöjligheter

Detta utvecklingsprojekt visar att nya möjligheter att illustrera förhållanden på land och i vatten finns genom att kombinera olika metoder som visuell tolkning och analys av flygbilder, laserskanning och satellitbilder. I framtiden förväntas den digitala fotogrammetrin och satellitbildsanalysen utvecklas så att den ersätter stora delar av den manuella flygbildstolkningen på land. Men än återstår mycket utvecklingsarbete för att på ett effektivt sätt framställa den typen av utvecklade vegetationskartor eller snarare komplexa vegetationsdatabaser.

Det finns flera möjliga användningsområden för vegetationskartering på land och i vatten samt för värdering av erosion i strandnära områden. Användargruppen såg ett stort värde i de framtagna vegetationskartorna för att få fram översiktliga kartor över stora områden som underlag för översiktliga bedömningar och för att välja ut områden för vidare fältundersökningar. En annan fråga som kom upp på användarmötet var behovet av kartor som visar på risk för erosion, dvs. en heltäckande värdering av vilka områden som är utsatta för erosion.

Ett problem med variabelbaserad kartering som har använts i detta projekt, där man har ett minimalt antal klasser som sedan förses med en rad olika variabler, är att data blir alltför komplexa för att visa i en enskild karta. Det traditionella kartografiska uttrycket blir därmed alltför begränsat för att kunna visa allt på samma kartbild. Istället får man en databas där man kan söka ut information i olika kombinationer för att skapa ett flertal olika bilder beroende på vad användaren har behov av. Detta är inte något problem i dagens GIS-miljöer, men ställer allt större krav på användarens förmåga att hantera och analysera komplexa data.

Ett exempel på hur olika urval ur databasen kan genereras är att istället för en traditionell vegetationskarta, välja att visa all mark som är fuktig, eller all skog med en viss åldersklass eller visa hur barr och löv fördelar sig på olika fuktighetsklasser. När man har andra data som t.ex. terrängens struktur, trädhöjd och tillgång till buskar och död ved kan man göra ytterligare nya kartprodukter som stöd för planering inom naturvård och miljöövervakning.

7.3 Utvecklingspotential

Vid kartläggning av **akvatisk miljö** finns möjligheter att ytterligare utveckla användning av laser-data tillsammans med flygbilder genom att korrigera intensiteten för djup innan den används i klassningen och att använda bilder med högre dynamik än de som använts i denna studie. Det är också möjligt att optimera datainsamlingen på flera sätt, exempelvis genom att anpassa tidpunkten till när förhållandena är mest lämpliga och att samla in fältdata med hög positionsnoggrannhet.

Ett framtida scenario för **terrester vegetationskartering** är t.ex. att utveckla ett interaktivt beräkningsverktyg som kan räkna ut medelhöjd och andra statistiska mått på trädhöjden i polygoner som skapas ”on the fly”. Detta skulle vara värdefullt och underlätta arbetet för en handläggare som t.ex. ska planera för naturvårdsåtgärder i ett område. Samma sak gäller information om träd- och busktäckning. Ett minst lika viktigt förhållande som fortfarande behöver klargöras är beräkningen av krontäckning och förändring i densamma över tid. Denna rapport visar exempel på hur olika tilläggsinformation kan kombineras för att förbättra kännedomen om vegetationens karaktär och nyckelegenskaper.

Arbetet i detta projekt har visat den avgörande rollen som markmodellen har i alla förberedelser av data och analyser, både visuella och automatiska. Genom att laserpunktmolnet (rådata) i nationella höjdmodellen finns tillgängliga som en parallell resurs vid sidan av markmodellen finns förutsättningar att vidareutveckla tekniken och få fram en förbättrad markmodell och studera egenskaper under krontaket. Det återstår att verifiera manuella metoder och att i framtida projekt utveckla automatiska processer och att lägga till nya variabler såsom fuktighetstyp, krontäckning, vertikal skiktning m.m.

Det finns flera tillämpningar för att övervaka och värdera **erosion och sedimenttransport** i kustområden. Detta blir alltmer nödvändigt för att förebygga och mildra konsekvenserna av stigande havsnivå till följd av klimatförändringar. Som anges i Kapitel 6 finns förutsättningar för att etablera ett system för övervakning av förändringar genom en kombination av olika typer av fjärranalys, där metoder väljs beroende på detaljeringsnivå och syfte. För att översiktligt och kostnadseffektivt kunna studera förändringar och utvecklingstendenser av strandnära områden kan satellitbilder an-

vändas. Inom bedömda och avgränsade riskområden kan därefter mer detaljerad analys göras med laserskanning och digitala flygbilder.

Användning av **databaser och GIS-teknik** ger stora möjligheter för analys och visualisering genom att digitala data kan fungera som underlag för vidareförädling av geografisk information genom t.ex. statistiska beräkningar. Med dagens GIS-verktyg är det ett relativt enkelt att bestämma kvalitativa, kvantitativa eller relativa (procentuella) förhållanden av eller mellan ingående förhållanden/parametrar. Vilken landareal har gått förlorad till havet – eller tillförts stranden – under aktuell tidsperiod? Vad är andelen hårbotten jämfört med en viss klass av sandbotten?

Man kan med upprepade studier etablera trender i de kvantitativa bestämningarna. Ett exempel är värdering av förändringar av både terrestra och marina element, såsom t.ex. mängden eller massan, av träd och dyner. Volymberäkningar av masstransport av bottensediment är en annan tillämpning som är möjlig med upprepade observationer av samma typ som visats i denna studie. Med så kallad "feature tracking" (upprepade observationer av ett och samma objekt) kan man följa landskapets utveckling i detalj genom att lägesbestämma valda objekt över tiden. Då fjärranalys har blivit alltmer, tillgängligt genom möjligheten till tätare observationer (både tids- och rumsmässigt) öppnar det möjligheter för bättre förståelse för landskapsutvecklingen.

Sammanfattningsvis visar denna utredning att den senaste utvecklingen inom laserskanning och digitala flygbilder ger nya möjligheter till en samlad och sömlös kartering av land- och vattenområden i strandnära områden. Genom att kombinera resultat från laserskanning och tolkning av flygbilder finns möjligheter att presentera information på ett antal kartor som kan användas för naturvård, fysisk planering och riskvärdering. Det finns också möjligheter till vidareutveckling av klassificeringsmetoder och att kombinera automatiska, semiautomatiska och manuella metoder där den tekniska utvecklingen inom fjärranalysområdet tas till vara.

Referenser

Allard, A & Skånes, H (2010). Miljöövervakning via infraröda flygbilder, ett väl använt verktyg med goda framtidsutsikter i Sverige. *Kart & Bildteknik* 2010:4, 20-23.

Allard, A, Nilsson, B, Pramborg, K, Ståhl, G & Sundquist, S (2007). Instruktion för bildtolkningsarbetet vid nationell inventering av landskapet i Sverige. NILS. År 2005. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU. Arbetsrapport, manual.

Chust G, Grande M, Galparsoro I, Uriarte A & Borja Á (2010). Capabilities of the bathymetric Hawk Eye Lidar for coastal habitat mapping: A case study within a Basque estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 89:200-213.

Havs- och vattenmyndigheten (2012). Manual för uppföljning av marina miljöer i skyddade områden (Version 4.5.3).

Ihse, M (1995). Swedish agricultural landscapes - patterns and changes during the last 50 years, studied by aerial photos. *Landscape and Urban Planning* 31: 21-37.

INPHO (2009). Match-T DSM 5.2 Reference Manual. INPHO GmbH, Germany, 85 p.

Lemaire, C (2008). Aspects of the DSM production with high resolution images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37 (B4), pp 1143-1146.

Lindberg, E, Olofsson, K, Holmgren, J, Olsson & H (2012). Estimation of 3D vegetation structure from waveform and discrete return airborne laser scanning data. *Remote Sensing of Environment*, 118:151-161.

Marklund, L, Allard, A, Egberth, M, Holmgren, J, Högström, M, Nilsson, B, Olsson, H, Skånes, H, Walter, F & Sundquist, S (2007). Utveckling av metodik för flygbildstolkning inom NILS landskapsrutor (5x5 km). Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU. Arbetsrapport 173.

Rydell, B, Törnqvist, O, Wiman, S & Hågeryd, A-C (2010). CoastSat. Fjärranalys med satellitbilder för uppföljning av erosion i kustområden. SGI Varia 616. Statens geotekniska institut, Linköping.

SGI (2007). Mätningar av erosionsförhållanden i Åhus. Förslag till mätprogram. Statens geotekniska institut, dnr 2-0610-0582.

SGI (2012). Åhus kustområde. Utvärdering av mätningar med laserbatymetri. Statens geotekniska institut, dnr 2-1012-0952.

Skånes, H, Mäki, A-H & Andersson, A (2007). Flygbildstolkningsmanual för Basinventeringen Natura 2000 version 7.1. Naturvårdsverket, 2007-12-14.

Skånes, H, Glimskär, A & Allard, H (2011a). EMMA Visual interpretation of vegetation characteristics in laser data - T1 initial report. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU. Arbetsrapport 314.

Skånes, H, Åkerholm, M, Christensen P & Tyboni, M (2011b). Metodik för bildtolkningsarbete för Nationell Inventering av Landskapet i Sverige (NILS) utökade tolkning i ett 3x3 km landskapsutsnitt. Flygbildstolkningsmanual. Fastställd den 25 mars 2011.

Tulldahl, HM, Vahlberg, C, Axelsson, A & Janeke, H (2008). Sea floor characterization from airborne Lidar data. In: International Lidar Mapping Forum 08, Denver, USA.

Tulldahl, HM, Vahlberg, C, Axelsson, A, Karlsson, H & Jonsson, P (2007). Sea floor classification from airborne Lidar data. In: Singh, UN, Pappalardo, G (eds) Lidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensing III, vol. 6750. SPIE, Florence, Italy, pp 675003-675001 – 675012.

Tulldahl, HM & Wikström, SA (2012). Classification of aquatic macrovegetation and substrates with airborne Lidar. Remote Sensing of Environment 121:347-357.

Wang, C-K & Philpot, WD (2007). Using airborne bathymetric Lidar to detect bottom type variation in shallow waters. Remote Sensing of Environment 106:123-135.

Wikström, SA & Tulldahl, HM (2010). En första utvärdering av användarfall för Lidarmätningar av grunda bottenar och strandmiljöer längs Sveriges kuster. AquaBiota Notes 2010:2.

Klassificeringssystem för vegetation vid visuell tolkning i IRF-flygbilder

- 1. Öppen terrester mark <30 % CC (> 5 m)**
 - 1.1.1. Sand (strand eller andra sandområden) (SMD 3.3.1)
 - 1.1.2. Öppen strandäng/dynvegetation
 - 1.1.3. Öppen gräsmark (SMD 2.3)
 - 1.1.4. Annan öppen vegetationsklädd mark
- 2. Buskmark, kalavverkning/ung skog < 30 % KT och > 30 % täckning av buskar eller unga träd (1-5 m) (SMD 3.2.4)**
 - 2.1.1. Löv
 - 2.1.2. Barr
 - 2.1.3. Blandat löv/barr
- 3. Trädklädd terrester och semiakvatisk mark > 30 % CC (> 5 m)**
 - 3.1. Lövskog (> 70 % löv) (SMD 3.1.1)
 - 3.1.1. Medelålders (5-15 m)
 - 3.1.2. Mogen (> 15 m eller mogen enligt struktur och färg)
 - 3.2. Barrskog (> 70 % barr) (SMD 3.1.2)
 - 3.2.1. Medelålders (5-15 m)
 - 3.2.2. Mogen (> 15 m eller mogen enligt struktur och färg)
 - 3.3. Blandskog (31-70 % löv eller barr) (SMD 3.1.3)
 - 3.3.1. Medelålders (5-15 m)
 - 3.3.2. Mogen (> 15 m eller mogen enligt struktur och färg)
- 4. Öppen semiakvatisk mark**
 - 4.1. Vass (SMD 4.1.1)
 - 4.1.1. Restaurerad
 - 4.1.2. Orestaurerad
 - 4.1.3. Övrig semiakvatisk mark (SMD 4.1.1/4.1.2/4.2.1)
- 5. Akvatisk**
 - 5.1.1. Ljus botten, troligen sand
 - 5.1.2. Mörk botten
 - 5.1.3. Mosaik av mörk och ljus botten, alltför småskalig för att separera
 - 5.1.4. Lagun – botten oftast ej synliga (SMD 5.2.1)
 - 5.1.5. Grunt vatten i kombination med mörk botten och ljusa block av vilka vissa bryter vattenlinjen.
 - 5.1.6. Djupt vatten eller botten ej synlig av annat skäl (SMD 5.2.3)
- 6. Artificiell mark**
 - 6.1.1. Urban bebyggd mark (OBS! kan innehålla olika andel grönstruktur)
 - 6.1.2. Hårdgjord yta eller substrat (vägar, parkeringsområden mm)
 - 6.1.3. Anlagd grönyta (större gräsmattor, parker) (SMD 1.4)

Variabler som flygbildstolkats inför olika omklassificeringar

Variables (geodatabase attributes)	Unit	Description
CC_Tr Canopy cover trees	0-100 %	Estimation CC
CC_Sh Canopy cover shrubs	0-100 %	Estimation CC
V_Height Vegetation height	meters	dominating height
T_Age Tree age	Discrete classes	Clear cut, plantation (<3 m) young-mid age, mature
T_Layer Tree layers	Discrete classes	0, 1, 2 or >2
T_CON Conifer	0-100 %	Estimation share of mainly pine CC
T_BDEC Broadleaved deciduous (ädellov)	0-100 %	Estimation of tree species proportion (oak, beech, maple...)
T_DEC Deciduous (triviallov)	0-100 %	Estimation of tree species proportion (birch, aspen, alder, rowan, goat willow/Salix caprea...)
S_CON Conifer (all)	0-100 %	Estimation of shrub proportion any coniferous
S_DEC Deciduous (all)	0-100 %	Estimation of shrub proportion any deciduous
MOIST moisture regime (dominating)	Discrete classes	Dry, mesic, moist, wet
FIELD_H field layer heath type	0-100 %	For terrestrial
FIELD_M field layer meadow	0-100 %	For terrestrial
FIELD_S field layer exposed substrate	0-100 %	Share of exposed area without vegetation cover
ARTIFIC_V vegetation cover in urban	0-100 %	Share of green structure in artificial land
Bottom	Discrete classes	Bottom type (under water)

Deltagare på användarmöte i Åhus 10 september 2012

Inbjudna till mötet var representanter för de flesta av Skånes kustkommuner och några ytterligare kommuner, länsstyrelserna i Skåne, Blekinge och Halland, Havs- och vattenmyndigheten samt Boverket. Dessutom deltog forskare från EMMA-programmet, representanter från forskningsprogrammets referensgrupp samt representanter för den operatör som utfört lasermätningen i Åhus. Deltagare i mötet redovisas nedan.

Inbjudna från användare		Deltagare från EMMA-programmet	
Michael Dahlman	Kristianstads kommun	Bengt Rydell	SGI
Karl-Erik Svensson	Kristianstads kommun	Linda Blied	SGI
Hans Cronert	Kristianstad kommun & Lst Skåne	Michael Tulldahl	FOI
Widar Narvelo	Helsingborgs kommun	Helle Skånes	Stockholms universitet
Mats Elfström	Ystads kommun	Sofia Wikström	AquaBiota Water Research
Henrik Olsson	Simrishamns kommun	Niklas Strömbäck	Strömbeck consulting
Jon Larsen	Lst Skåne	Mats Nilsson	SLU
Referensgrupp EMMA		Ann-Helen Granholm	SLU
Ola Inghe	Naturvårdsverket	Håkan Olsson*	SLU
Cecilia Lindblad	Naturvårdsverket	Eva Lindberg*	SLU
Martin Gustafsson	Naturvårdsverket	Jan Eklöf	SLU
Hans Gardfjell	SLU	Representanter för operatör - laserskanning	
Patrik Wiberg	Sjöfartsverket	Carl-Johan Stigermark	Airborne Hydrography AB
Marianne Ormalm*	Lantmäteriet	Jonas Gunnarsson	Airborne Hydrography AB

* Deltog under del av mötet



Statens geotekniska institut

Postadress: 581 93 Linköping

Tel: 013-20 18 00

E-post: sgi@swedgeo.se

www.swedgeo.se
