

Master Thesis
TVVR 17/5001

Vegetationens betydelse för dyners morfologi

Inverkan av stormerosion samt
långsiktig utveckling i Ängelholms
strandskog

Janna Lindell



Division of Water Resources Engineering
Department of Building and Environmental Technology
Lund University

Vegetationens betydelse för dyners
morfologi
Inverkan av stormerosion samt långsiktig
utveckling i Ängelholms strandskog

By:
Janna Lindell

Master Thesis

Division of Water Resources Engineering
Department of Building & Environmental Technology
Lund University
Box 118
221 00 Lund, Sweden

Water Resources Engineering
TVVR-17/5001
ISSN 1101-9824

Lund 2017
www.tvrl.lth.se

Master Thesis
Division of Water Resources Engineering
Department of Building & Environmental Technology
Lund University

Swedish title: Vegetationens betydelse för dyners morfologi,
Inverkan av stormerosion samt långsiktig utveckling i
Ängelholms strandskog

English title: The importance of vegetation for dune morphology,
Impact of storm events and long-term evolution at the
beach Ängelholms strandskog

Author(s): Janna Lindell

Supervisor(s): Magnus Larson, Caroline Fredriksson, Andreas
Persson (LU) & Annika Hermodsson Hyltén (Esri)

Examiner: Hans Hanson

Language: Swedish/Svenska

Year: 2017

Keywords: Beach vegetation; removal; dune erosion; storm; GIS;

Förord

Jag skulle vilja skänka ett stort tack till alla de personer som har hjälpt mig under projektets gång, och bidragit till de resultat som vi kan se idag. Det har varit ett roligt och spännande arbete.

Tack till:

Caroline Fredriksson, Magnus Larson och Andreas Persson, handledare från LTH och LU.

Annika Hermodsson Hyltén och Göran Pettersson, handledare och kontakter från Esri Sverige.

Jonas Henriksson och Luis Martinez, kontakter från Ängelholms kommun samt Metria AB.

Martin Bernhardson och Peter Jonsson, kontakter från LU och LTH

Lena och Lasse Nilsson, kontakter i Ängelholm

Louise Bradshaw, diskussions- och problemlösarstöd i GIS.

Examensarbetet är gjort på institutionen för Teknisk vattenresurslära, LTH, och tillsammans med företaget Esri Sverige.

Bilden på framsidan är från rapportens studieområde Ängelholms strandskog.
Foto: Janna Lindell

Lund den 18:e februari 2017

Janna Lindell

Abstract

In 2014 vegetation was removed from the sand dunes in the south section of Ängelholm beach as a part of the EU-funded project Sand Life, with the objective to improve biodiversity in Swedish sand areas. The aim of this study is to investigate how the removal of beach vegetation has affected the morphology and the evolution of the dunes, from the removal in 2014 until today (2016), including the impacts of the storms *Egon*, *Gorm* and *Urd*. The methods used are remote sensing of orthophotographs together with comparisons of digital elevation models for 2010, 2014 and 2015. The program used for the study was ArcMap 10.4.1. Measurements were also made in field. The results show that the vegetation removal have had a considerable impact on the development of the dunes. The unvegetated dunes observed two to four times larger storm erosion due to waves after *Egon* and *Gorm* than the vegetated dunes. They have become more flattened than the vegetated dunes as sand from the unvegetated dunes has blown into the forest behind. The results likely depend on that the unvegetated dunes no longer are stabilized by vegetation or have enough plants that can trap and bind the sand. The removal of beach vegetation has increased the spreading of the sand and the erosion of the dunes by waves. This probably makes the dunes more vulnerable to storm events.

Sammanfattning

År 2014 utfördes vegetationsborttagning på en del av sanddynerna i den södra delen av Ängelholms strand. Arbetet utfördes som en del av Projekt Sand Life, ett EU-projekt med avsikt att öka den biologiska mångfalden i svenska sandmarksområden. Syftet med den här studien är att undersöka hur borttagningen av strandvegetationen har påverkat områdets morfologi och utveckling från ingreppet fram tills idag (2016), inkluderande stormarna *Egon* och *Gorm* (2015) samt Urd (2016). Metoden som användes i undersökningen bestod av analyser av ortofoton från 2010, 2014 och 2015, samt jämförelser av höjdmodeller från dessa år. Programmet som användes för analyserna var ArcMap 10.4.1. Mätningar gjordes även i fält. Resultaten från studien visar att vegetationsborttagningen haft en betydande inverkan på dynernas morfologiska utveckling. De vegetationsreducerade frontdynerna har eroderat två till fyra gånger mer av vågor under stormarna *Egon* och *Gorm* än de bevuxna dynerna. De obevuxna dynerna har slätats ut mer än de bevuxna dynerna eftersom sand har blåst in i skogen bakom. Resultaten beror troligtvis på att det inte längre finns någon växtlighet på de obevuxna dynerna som stabiliserar dem eller kan fånga in och binda sanden. Sammanfattningsvis har borttagningen av vegetationen ökat sandens spridning i området och erosionen av vågor på dynen. Detta gör troligen den obevuxna dynen känsligare för stormerosion.

Innehållsförteckning

Förord	iii
Abstract	v
Sammanfattning	vii
Innehållsförteckning.....	ix
1. Introduktion	1
1.1 Inledning.....	1
1.2 Syfte	1
1.3 Frågeställningar	2
1.4 Avgränsningar	2
1.5 Disposition	2
1.6 Studieområde.....	3
1.6.1 Ängelholm och Ängelholms strandskog	4
1.6.2 Mer ingående om studieområdet	5
1.6.3 Bevarandestatus för Ängelholms strandskog	5
1.6.4 Ängelholms historiska utsatthet för sandflykt.....	6
1.6.5 Stormar och stranderosion i Ängelholm.....	8
1.7 Projekt Sand Life.....	13
1.7.1 Projekt Sand Life i Ängelholms strandskog.....	13
2. Bakgrund	19
2.1 Eolisk sandtransport	19
2.2 Bildande av sanddyner	20
2.3 Sanddynernas roll som skydd vid stormar	22
2.4 Erosion av sanddyner	22
2.4.1 Dynerosion av vågor	23
2.4.2 Eolisk dynerosion – Vinderosion	24
2.4.3 Erosion i artificiella sanddyner.....	26

2.5 Vegetationens inverkan på vindtransport och erosion av sanddyner ...	26
3. Metodik	29
3.1 Data och använda program/analysmetoder	29
3.1.1 Höjd-data och LAS data-filer	29
3.1.2 Höjdmodeller (DEM)	30
3.1.3 Fjärranalys	30
3.2 Analys av marktäckning och sandspridning i flygfoton.....	31
3.3 Studier av höjdmodeller i ArcScene.....	31
3.4 Studier av höjdmodeller och volymförändringar	32
3.4.1 Beräkning av erosion på frontdynen	32
3.4.3 Strandprofiler från höjdmodellerna	33
3.4.4 Dynernas utveckling från april 2010 till december 2015	33
3.4.5 Uppskattning av mätfel inom höjdmodeller.....	33
3.5 Strandprofiler uppmätta i fält	34
3.6 Modellering av dynerosionen.....	34
3.7 Mätningar med markradar över dynen	35
3.8 Analyser av fotografier från fält 2016.....	35
3.9 Kartläggning av uppspolning efter Urd.....	35
4. Resultat.....	37
4.1 Sandspridning och marktäckning i flygfoton	37
4.2 Höjdmodeller i ArcScene	41
4.3 Höjdmodeller och volymförändringar.....	42
4.3.1 Beräkning av erosion på frontdynen	44
4.3.2 Strandprofiler från höjdmodellerna.....	46
4.3.3 Dynernas utveckling från april 2010 till december 2015	49
4.3.4 Uppskattning av mätfel i höjdmodeller	52
4.4 Strandprofiler uppmätta i fält	53
4.5 Modellering av dynerosionen.....	56

4.6 Mätningar med markradar över dynen	58
4.7 Fotografier från fält 2016 och 2017	61
4.7.1 Fotografier från fält 21:a september och 27:e oktober 2016.....	62
4.7.2 Fotografier från fält 5:e januari 2017	66
4.8 Kartläggning av uppspolning efter Urd.....	69
5. Diskussion	71
5.1 Marktäckning och sandspridning	71
5.2 Höjdmodeller i ArcScene	72
5.3 Höjdmodeller och volymförändringar.....	73
5.4 Strandprofiler mätta i fält	76
5.5 Modellering av dynerosionen.....	77
5.6 Mätningar med markradar över dynen	78
5.7 Analys av fotografier från fält 2016 och 2017	79
5.8 Kartläggning av uppspolning efter Urd.....	79
5.9 Erosion beroende på storm och dynform	79
6. Slutsats	81
6.1 Framtida studier.....	81
7. Referenser.....	83
Appendix	87
I. Data använd i Analys och figurer.....	87
II. Detaljerad metod för skapande av figur 1	90
III. Detaljerade metoder för skapande av resultat i ArcMap 10.4.1	90
Studier av höjdmodeller i ArcScene.....	90
Studier av höjdmodeller för att se volymförändringar	91
Uträkning i GIS av förlorad volym vid erosion	91
Studier av förändring i strandprofiler gjorda av höjdmodellerna.....	91
IV. Strandprofiler och markradar uppmätta i fält	91

1. Introduktion

1.1 Inledning

Klimatförändringarna och den globala uppvärmningen gör att havsytans medelnivå stiger. Uppskattningsvis kommer medelhavsnivån att stiga cirka 1 meter under detta sekel (fram till år 2100) och därefter fortsätta att stiga (SMHI och Naturvårdsverket, 2014). En höjd havsnivå sätter större press på kustlandskapet eftersom erosions- och översvänningsförhållanden förändras. Detta gör kusten ännu känsligare för stormerosion. Vid stormar ökar vattennivån ytterligare via vinduppstuvning och därutöver vågor vilket kan medföra skador på kustnära infrastruktur och bebyggelse (Öckerman, 2016). På grund av dessa både aktuella och kommande utmaningar har det blivit allt viktigare att hitta hållbara sätt att förvalta kusten och dess stränder samt att utvärdera vad olika tekniker får för resultat.

Ängelholm ligger på Skånes nordvästra kust och har strand ut i viken Skälderviken. Kusten drabbas frekvent av starka höst- och vinterstormar och framförallt strandens norra delar har problem med stranderosion (Fredriksson et al., 2011). Området har även haft historiska problem med sandflykt var av en skyddsskog planterats längs med kusten på 1700-talet (Johnmark och Länsstyrelsen i Skåne län, 2010). I början av år 2014 utfördes vegetationsborttagning, silning och återuppbyggnad av en del av sanddynerna i den södra delen av stranden. Arbetet utfördes som en del av Projekt Sand Life, ett EU-projekt med syfte att öka den biologiska mångfalden i svenska sandmarksområden (Länsstyrelsen Kalmar län, u.å-a). I det här arbetet studeras hur borttagningen av strandvegetationen har påverkat områdets morfologi och utveckling från ingreppet fram tills idag (2016), inkluderande stormarna *Egon* och *Gorm* (2015) samt *Urd* (2016). I analysen används geografiska informationssystem (GIS) i form av programmet ArcMap 10.4.1 för att behandla geografisk data. Examensarbetet är gjort på institutionen för Teknisk vattenresurslära, LTH, och tillsammans med företaget Esri Sverige.

1.2 Syfte

Studiens syfte är att utreda hur vegetationsborttagningen har påverkat strandens och dynlandskapets morfologi från borttagningen fram till och med 2016 i den södra delen av naturreservatet Ängelholms strandskog.

1.3 Frågeställningar

1. Hur har sanddynernas form och storlek förändrats från 2010 till 2016 efter att vegetationen tagits bort?
2. Hur har sanden spridit sig, är det någon skillnad med och utan vegetation i området?
3. Hur har borttagningen av vegetationen påverkat stormerosionen i samband med stormarna Egon och Gorm 2015, samt Urd 2016?
4. Kan borttagningen av strandvegetationen påverka strandens motståndskraft vid storm?

1.4 Avgränsningar

Studieområdet har avgränsats till södra området på Ängelholms strand, Ängelholms strandskog (Sand Lifes projektområde "A") med intilliggande orörda dyner som kontrollområde.

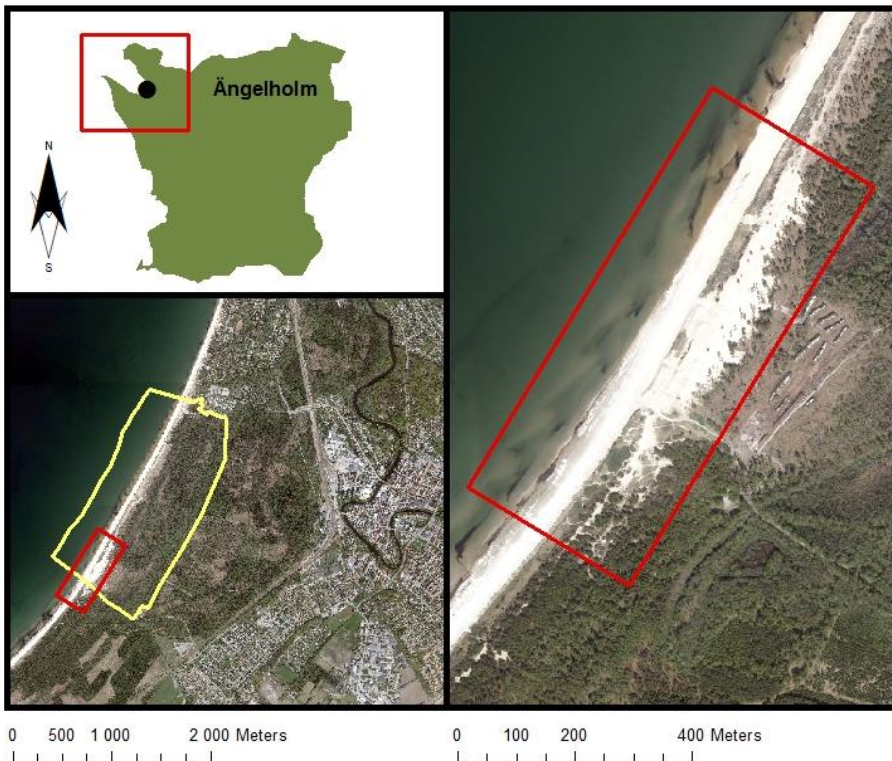
Datumen för analys har avgränsats till tiden mellan/runt stormarna Egon och Gorm (2014–2015) fram tills idag (2016, inkluderande stormen Urd) med år 2010 som kontroll-år med orörd vegetation i dynerna.

1.5 Disposition

Rapporten börjar med att presentera studieområdet på Ängelholms strand med både landskapsbeskrivning och de historiska problem som området haft med sandflykt. Sista kapitlet i inledningen berättar om Projekt Sand Life och borttagningen av vegetationen som skedde vid 2013–2014. Som bakgrund presenteras hur sandtransport, bildande och erosion av sanddyner går till samt litteraturstudier på vilken inverkan strandvegetationen har på dessa processer. I metodiken förklaras de data som använts i rapporten samt hur analysen av denna utförts. I resultat-delen redovisas samtliga kartor, diagram, tabeller och uträkningar gjorda i studien följda av analys och diskussion i diskussionsdelen. Avslutningsvis besvaras rapportens frågeställningar och förslag på framtida studier föreslås.

1.6 Studieområde

Studieområdet för projektet ligger på den södra delen av Ängelholms strand och delvis inom Naturreservatet Ängelholms strandskog se figur 1. Anledningen till att detta område valdes är för att det ligger på en storm-utsatt kuststräcka samt att ändringar i dynernas vegetation i området gjordes år 2014, vars effekter är intressanta att undersöka. Som kontrollområde valdes extra yta vid sidan om de vegetationsreducerade dynerna. Nedan ges en översiktlig introduktion till Ängelholms strandskog innan fokus läggs på det avgränsade studieområdet.



Figur 1. Studieområde ligger i Skåne på Ängelholms kust (se figur längst upp och längst ner till vänster). Den gula inramningen markerar naturreservatet Ängelholms strandskog och den röda inramningen det faktiska studieområdet (se högra figuren). Ortofotot (flygfotot) är från januari 2014.

1.6.1 Ängelholm och Ängelholms strandskog

Staden Ängelholm ligger på kusten i nordvästra Skåne och har strand ut i viken Skälderviken, se figur 1. Inom kommunen finns idag cirka 40 000 invånare varav 25 000 bor i tätorten (Ängelholms Näringsliv AB, u.å.).

I den södra delen av Ängelholms strand ligger Natura 2000-området Ängelholms strandskog, som visat i figur 1. Området har varit ett naturreservat sedan år 2010 och ägs av Stiftelsen för fritidsområden i Skåne (Johnmark och Länsstyrelsen i Skåne län, 2010). Naturreservatet Ängelholms strandskog är cirka 219 hektar stort, varav 68 hektar är hav (Länsstyrelsen Skåne, u.å.). Havsdelen av naturreservatet sträcker sig till ett vattendjup på ca 3 m. Bottnen saknar vegetation men har en betydelsefull roll som uppväxtplats för skrubba, spätta och andra plattfiskar. Reservatet övergår sedan till en bred vegetationslös strand som längre inåt land övergår till kustparallella sanddynor klädda med vegetation. I området finns både vita och gråa sanddynor. Vita sanddynor är vandrande sanddynor med sandrör, och gråa sanddynor är permanenta sanddynor med örtvegetation. Bakom sanddynorna ligger en sänka med lågväxande bergtall. Innanför kustdynorna börjar sandskogen som främst domineras av tall. I de fuktigare områdena växer det olika typer av lövträd (Johnmark och Länsstyrelsen i Skåne län, 2010).



Figur 2. Foto från Ängelholms strandskog över Ängelholms strand i september 2016. Foto: Martin Bernhardsson. Fotot används med tillstånd från fotografen.

I naturreservatet är den dominerande jordarten flygsand. På vissa ställen är flygsanden täckt av ett tunt lager med torv (Johnmark och Länsstyrelsen i Skåne län, 2010). Tallskogen i området är ursprungligen från den skyddsskog

som planterades under 1700-talet för att få bukt med kommunens problem med sandflykt (Johnmark och Länsstyrelsen i Skåne län, 2010). Mer om Ängelholms historiska problem med sandflykt beskrivs i kapitel 1.6.4.

1.6.2 Mer ingående om studieområdet

Arbetets studieområde ligger i den södra delen av Naturreservatet Ängelholms strandskog som visat i figur 1. Enligt observationer i ArcMap består området av ett platt strandplan på ca 40 – 50 m, och därefter låga sanddynor 50 -100 m med ett flackare område bakom strax innan tallskogen tar vid. Dynerna är ca 3-4 m höga och toppiga. Kornstorleken på sanden i området är ca. 0,15-0,20 mm, vilket är definierat som flygsand. Sandproverna togs i samband med fältstudier och analyserades för en annan inte ännu publicerad studie av Caroline Fredriksson. De yttersta dynerna i studieområdet har orörd vegetation medan på de mittersta dynerna så har delar av vegetationen blivit undanröjd i samband med projekt Sand Life (presenteras nedan i kap 1.7). Vegetationen i dynerna består mestadels av sandrör och strandråg uppblandat med annan låg vegetation och vresrosor. Bakom dynerna växer tall i sandskogen. Under fältbesöken noterades det även att brännässlor växer på en del av dynerna i området, se figur 3.



Figur 3. Foto från Ängelholms strandskog på brännässlor och vresrosor i dynen.
Foto: Janna Lindell

1.6.3 Bevarandestatus för Ängelholms strandskog

Länsstyrelsen i Skåne skriver i sin skötselplan för naturreservatet att inventeringar gjorda efter 2003 visar att arean av de öppna sanddynerna i området minskar och lär vara igenväxta om 20 år ifall ingenting görs. Stora

områden är bevuxna med bergstall och vresrosor vilket lämnar få områden med bar sand eller andra typiska sandmarksväxter så som ört- och risväxter (Johnmark och Länsstyrelsen i Skåne län, 2010). Ängelholms strandskog har ett stort zoologiskt värde då området är viktigt för både insekter, fåglar och fladdermöss. En rödlistad fågelart, Fältpiplärkan (*Anthus campestris*), har tidigare funnits i området men inte syns till sedan 1980-talet (Sand Life, 2014). I området finns även flera olika rödlistade bi-arter så som havsmurarbi (*Osmia maritima*), hedsidenbi (*Colletes fodiens*), havstapetserarbi (*Megachile dorsalis*) och randbyxbi (*Dasydopa hirtipes*) (Johnmark och Länsstyrelsen i Skåne län, 2010).



Figur 4. Foto från Ängelholms strandskog, september 2016.
Foto: Martin Bernhardsson. Fotot används med tillstånd från fotografen.

Ängelholms strandskog har även ett högt rekreativvärde då det är en populär badplats på somrarna och även tillhandahåller både rastplatser och vandringsleder (Sand Life, 2014). Även hundar och hästar är frekventa besökare på stranden vilket observerats i fält.

1.6.4 Ängelholms historiska utsatthet för sandflykt

I Länsstyrelsens skötselplan för naturreservatet Ängelholms strandskog (2010) beskrivs det att Ängelholm historiskt sett har haft stora problem med flygsand, detta eftersom sandavlagringarna ut mot kusten är känsliga för erosion. Redan på 1500-talet var det förbjudet att hugga ner träd och buskar på sanddynerna eller intill Rönne å vilken rinner genom staden. Markförstöring då flygsand blåste in över betesmarker och åkrar blev ett stort problem under 1600 och 1700-talet. När Linné var i Ängelholm år 1749 kommenterade han Ängelholms problem med flygsand så här:

”Sandfält av flygsand hade lagt sig på alla sidor omkring staden och kastat sig brevedid kyrkan samt inuti själv staden och jämmerligen översvimmat all marken, sträckt sig till Skärpinge¹ by i sydost och till Räfwenbärga² kyrka i nordost, där han gått intill kyrkan alltifrån havet och stadssidan, så att flygsanden ingenstädes i riket varit så ymnig och gjort så stor skada som vid Engelholm” (Linné, 1975, s.297).

För att skydda Ängelholm mot sandflykten vidtogs åtgärder redan år 1739, innan Linnés besök. Projektet var ett av Sveriges första statligt finansierade naturvårdsskyddsprojekt och pågick under cirka 100 år. Gärdesgårdar gjorda av störra hopflätade med ris byggdes upp för att fånga in sanden i dyner som sedan kunde sås med gräs och träd (Johnmark och Länsstyrelsen i Skåne län, 2010). Då gräset (sandhavre och margräs) såddes i dynen täcktes de över med ett tunt lager av tång för att hindra sanden från att blåsa iväg och istället låta gräset få tid att slå rot (Linné, 1975, Lidbeck, 1759). Dessa långa raka dyner finns kvar idag och syns fortfarande i skogen bakom stranden. Under tiden vegetationen växte var planteringen på sanddynerna inhägnade för att hålla människor och djur på avstånd. Enligt Linnés resedagbok beräknas planteringen ha kostat 20 000 daler i silvermynt (Linné, 1975). I dagens pengavärde motsvarar det cirka 2,7 miljoner kronor (Edvinson, 2013). Under åren 1825-40 hade skogen, Kronoskogen, växt till sig så att skyddet mot flygsanden började få sin verkan. Vegetationen band och förhindrade sandflykten. I slutet av 1800-talet kunde skog brukas och återplanteras i området men risbränning var förbjudet. Boskap var fortfarande inte heller tillåtet i strandskogen eftersom de kunde trampa sönder skyddet. Senare under 1900-talet bedrevs ett normalt skogsbruk med avverkning och nyplantering i området, förutom på den yttersta mest kustnära biten där det rådde skyddsskogs-bestämmelser (Johnmark och Länsstyrelsen i Skåne län, 2010).

¹ Skärpinge = Skörpinge

² Räfwenbärga = Rebbelberga



Figur 5. Kronoskogen, den planterade skyddsskogen. Fotot är taget norr om rapportens studieområde i Ängelholms strandskog. Foto: Janna Lindell

1.6.5 Stormar och stranderosion i Ängelholm

Storm enligt SMHI är när vindarna har en medelhastighet lika med eller högre än 24,5 m/s. Orkanbyar är då vindbyarna uppnår en hastighet på 32,7 m/s eller mer (SMHI, 2016a). Skälderviken och Ängelholms strandskog utsätts för starka vindar och stormar främst under perioden september till februari. Oftast är vindriktningen ifrån väst (Arnström och Länsstyrelsen Kristianstads län, 1985). Västlig vind och lågtryck är faktorer som båda bidrar till högt vattenstånd i viken, vilket i sin tur ofta medför stranderosion. Vinden har stor betydelse i Skälderviken eftersom den kan påverka vattennivån i viken genom uppstuvning. Vattnet pressas in i viken av vinden och strömmar tillbaka ut längs med botten, och beroende på bottenens friktion samt djupförhållandena i viken så hämmas vattnet på tillbakavägen, vilket resulterar i en uppstuvning. Detta sker vid nordvästliga vindar. SMHI visar i sin översvämningsskartering för Rönne å att en vind på 30-32 m/s resulterar i en uppstuvningseffekt på ca 40 cm i Skälderviken (Carlsson och SMHI, 2013, Fredriksson et al., 2011).

I Skälderviken sker en nettotransport av sand från norr till söder. Under kraftiga vindhändelser när uppstuvning sker skapas det strömmar ut från kusten som transporterar ut sand från stranden till längre ut i viken (Palalane et al., 2016).

De mätstationer som ligger närmast Skälderviken för uppmätning av vindhastigheter och havsvattenstånd är Hallands Väderö (vind) respektive Viken (vattenstånd); SMHI utför inte några mätningar i Skälderviken i sig (Fredriksson et al., 2011). I november 2014, januari 2015 och december 2015

(kring stormarna Egon och Gorm) utfördes mätningar av Ängelholms strand av Metria AB på uppdrag från Ängelholms kommun (Martinez och Metria AB, 2015b, Martinez och Metria AB, 2015a, Martinez och Metria AB, 2016). Med hjälp av dessa mätningar räknades det ut att cirka 71 000 kubikmeter sand tagits av havet under stormarna Egon och Gorm (presenteras nedan). Ängelholms strandskog, studieområdet för den här rapporten, beräknades ha förlorat en halv meter land i stormarna sedan de första mätningarna år 2014 (Kocken, 2016).

Flera stormar har drabbat Ängelholms kust, *Adventsstormen* 2011 och *Sven* 2013 som ett par exempel (SMHI, 2014, SMHI, 2015b). Den här studien fokuserar på vilka effekter som stormarna *Egon*, *Gorm* och *Urd* haft på studieområdet i Ängelholms strandskog, därför presenteras de noggrannare var för sig i avsnitten nedan. Sist i kapitlet visas ett diagram över stillvattennivån (vattenytans nivå utan inverkan av vågor) under respektive storm.

Egon, 10:e januari 2015

Stormen Egon drog in över södra Sverige lördagen den 10:e januari år 2015. Den hade börjat som ett intensivt lågtryck utanför Norges västkust. Egon rörde sig sedan över natten mot söndagen österut och hade sitt centrum nära Stockholm. Över Götaland låg då ett brett och kraftigt vindband. I norra Svealand och Norrland, norr om lågtrycket, rådde ymniga snöfall. Stormen förde med sig både stormvindar, orkanbyar på flera ställen längs med Götalands kust, och högt vattenstånd på västkusten. Högsta byvind på Hallands Väderö under Egon uppmättes till 34 m/s. Från Väderöarna på Bohuskusten rapporterades den högsta medelvindshastigheten vara 30 m/s i västlig riktning. På samma område uppmättes även den högsta vindbyhastigheten till 40 m/s. Cirka 70 000 hushåll blev strömlösa under stormen. Under söndagen avtog vindarna och lågtrycket drog ytterligare bort mot öster (SMHI, 2016a).

Enligt SMHI var den högsta uppmätta medelvindshastigheten på Hallands Väderö 22,8 m/s (SMHI, 2016c). I Ängelholm rapporterades det om höga vattenstånd speciellt i Skälderviken där vattnet trycktes upp mot land cirka 160 cm (Niklasson, 2015, SMHI, 2016c). Åpromenaden längs Rönne å inne i centrala Ängelholm låg under vatten. Stormen Egon tog även hårt på klitterna, speciellt i den norra delen av Ängelholms strand där kommunen året innan satsat mycket på reparation och förstärkning av dynen (TT-HD-Sydsvenskan,

2015). Efter stormen återuppbyggdes klitterna genom att sand flyttades tillbaka från vattnet upp till dynen (Ängelholms kommun, 2015b).

Gorm, 29:e -30:e november 2015

Stormen Gorm drabbade Sverige söndagen den 29:e till måndagen den 30:e november år 2015, 10 månader efter Egon. Under söndagen hade stormen sitt lågtryckscentrum över de brittiska öarna med ett lyfttryck på ca 985 hPa. När lågtrycket sedan rörde sig över Nordsjön sjönk det kraftigt, som mest med 12 hPa på tre timmar. Natten mot måndagen den 30 nov nådde Gorms lågtryckscentrum Götaland. Lågtrycket hade nu utvecklats till ett stormlågtryck. Högsta medelvindhastigheten av Gorm på Hallands Väderö uppmättes till 27,9 m /s, och byvindhastigheten till 39,8 m/s i västlig riktning. Stormen orsakade även ett högt havsvattenstånd. I Viken höjdes vattenståndet med 154 cm över det normala (SMHI, 2015a).

Det rapporterades även från Ängelholm att vattenståndet var drygt 2 meter över det normala vattenståndet (SMHI, 2015a). Båtar hade vält i Skäldervikens småbåtshamn och tunneln in till hamnen var rejält översvämmad, vilket gjorde att vattnet behövdes pumpas bort innan det gick att passera med bil igen (Venhagen, 2015). Även villor som ligger längs med Rönne å översvämmades (Johansson et al., 2015). Gorm skadade också klitterna på Ängelholms strand avsevärt och transporterade bort sand från dynen (Ängelholms kommun, 2015a). I figur 6 nedan visas foton från studieområdet efter stormen.

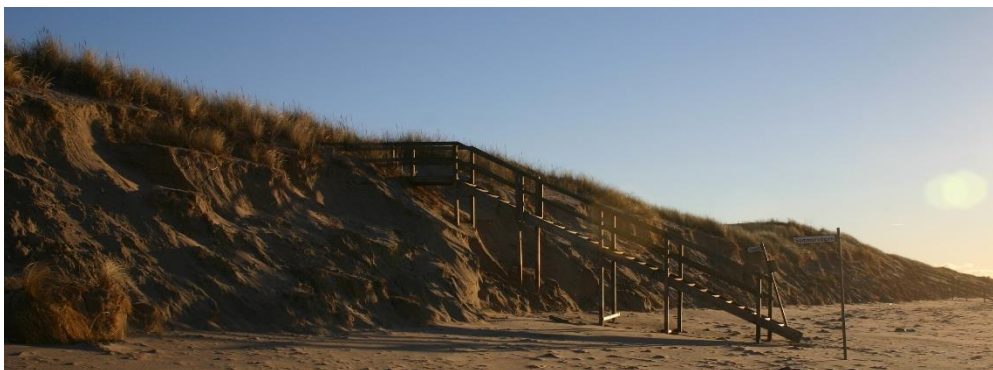


Figur 6. Foto över södra delen av arbetets studieområde med ohevuxna dynen, Ängelholms strandskog den 7:e december 2015 cirka en vecka efter stormen Gorm.
Foto: Lena Nilsson. Fotot används med tillstånd från fotografen.

Urd, 25:e-26:e december 2016

Stormen Urd drog in över Sverige på juldagen 2016. Stormens lågtryck gick strax söder om Island och fortsatte sedan österut över Norska ishavet. Ett dellågtryck som rörde sig mot sydost över Skandinavien bildades under annandagen och orsakade de kraftiga vindarna i Sverige. Värst drabbade av Urd var Storbritannien, Färöarna och Norge som ligger längre västerut (SMHI, 2016b).

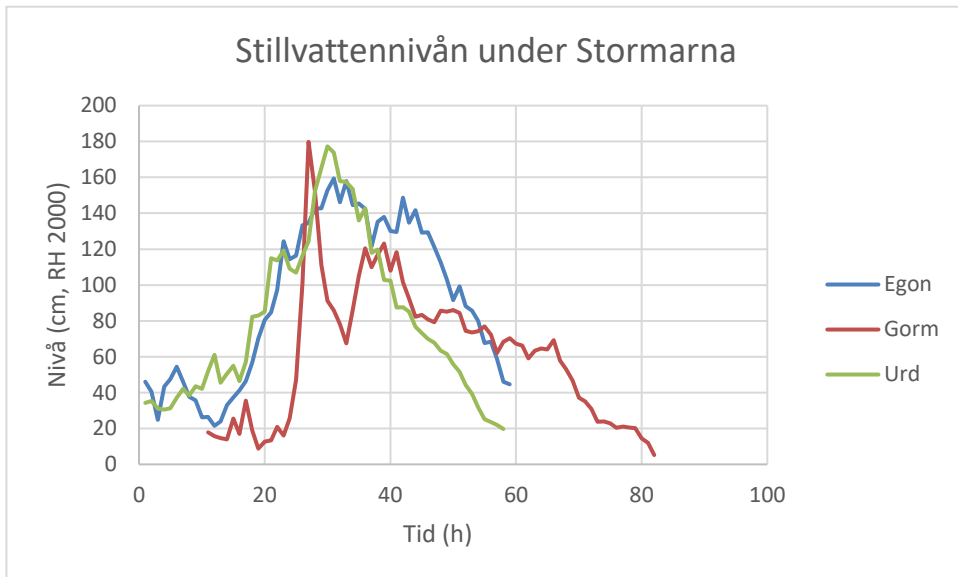
På Hallands Väderö uppmättes högsta medelvindhastigheten till 21,8 m/s (SMHI, 2016c), byvindhastigheten till 30,5 m/s och vattenståndet i Viken till 160 cm över medelvattenståndet (SMHI, 2016b). Stormen hade västlig, nordvästlig riktning. Under ett fältbesök i januari 2017 observerades det att Urd skadat klitterna på Ängelholms strand, främst i den norra delen av stranden, se figur 7.



Figur 7. Skador efter stormen Urd vid Sommarvägen, norr om studieområdet. Sand har eroderats bort så att trappans stöttor hänger i luften. Fotot är taget den 5:e januari 2017.
Foto: Janna Lindell

Stillvattennivå för Egon, Gorm och Urd

För att skapa en bättre förståelse om stormarnas olika inverkan på vattennivån i Skälderviken samt hur länge de pågick, redovisas respektive stormars stillvattennivå nedan i figur 8. I figuren syns det att Gorm och Urd är de stormar som skapat högst vattennivåer, med Egon strax under. Diagrammet är skapat från den data som beskrivs i kapitel 3.6, vattenståndsdatabaser från Viken korrigerad med uppstuvning för Skälderviken.



Figur 8. Diagram över uppskattad stillvattennivå (cm, relativt RH 2000) i Skälderviken under stormarna Egon, Gorm och Urd.

1.7 Projekt Sand Life

Sand Life är ett EU-projekt med syfte att restaurera de sydsvenska sandmarkerna och på så sätt främja den biologiska mångfalden i dessa områden. Projektet sker i samarbete mellan Länsstyrelserna i Skåne, Kalmar och Halland tillsammans med Lunds universitet och Kristianstads Vattenrike (Länsstyrelsen Kalmar län, u.å-b). Projektet beräknas pågå under sex år och har en budget på 70 miljoner svenska kronor. Hälften av budgeten är finansierad med medel från EU (Länsstyrelsen Kalmar län, u.å-a).

1.7.1 Projekt Sand Life i Ängelholms strandskog

Restaureringen av Ängelholms strandskog i enlighet med Projekt Sand Life påbörjades redan år 2008-2009, se figur 9 och 10. Målet i området är att öka andelen vita (öppna gräs- och ristäckta sanddyner), gråa (permanenta sanddyner med örtvegetation) och urkalkade permanenta sanddyner med kråkbär. Inne i skogsdelen med dyner togs även träd bort för att skapa solgropar och gläntor med bar sand. För att vidare uppnå målen är det följande åtgärder som har vidtagits eller kommer att vidtas i naturreservatet:

- Borttagning av buskar, träd och bergtallsplanteringar genom avverkning och avlägsnande av stubbar.
- Borttagning av vresrosor genom uppgrävning och sällning av sand för att avlägsna rötter. Sanden moduleras efteråt till nya dyner.
- Naturvårdsbränning i omgångar samt grävning av brandgator.
- Røjning av växter och plantor så att de bara ytorna inte växer igen.



Figur 9. Projekt Sand Life tar bort vegetation i dynerna.
Foto: Lena Nilsson. Fotot används med tillstånd från fotografen.



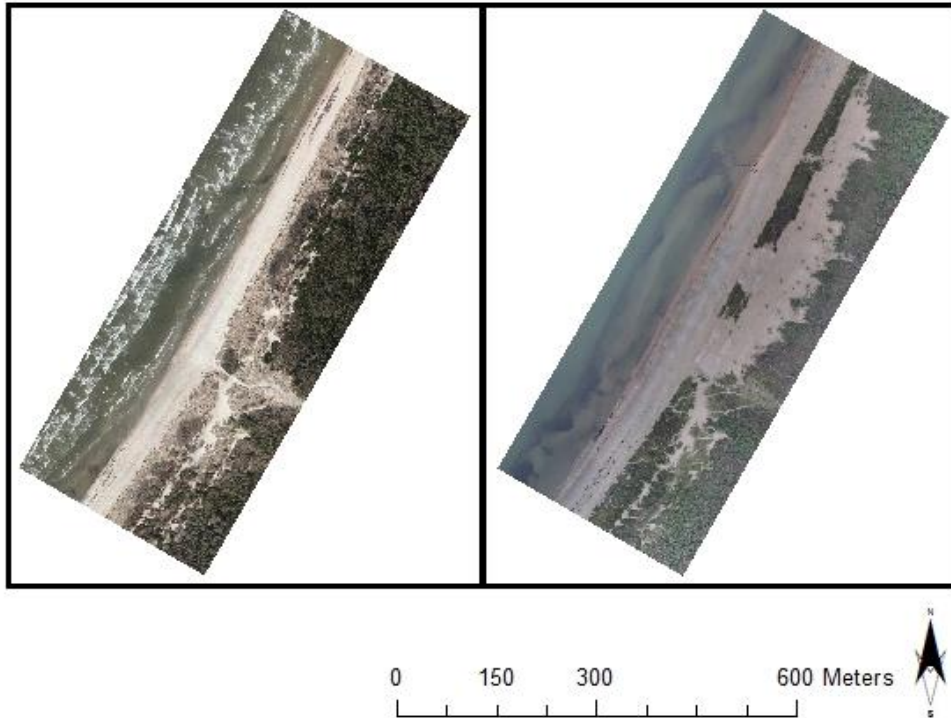
Figur 10. Projekt Sand Life tar bort vegetation från dynen och silar sanden från rötter.
Foto: Lena Nilsson. Fotot används med tillstånd från fotografen.

År 2008-2009 togs vresrosor och bergtall bort från ett område på 4 hektar, delområde B, vilket ligger norr om rapportens studieområde, se figur 11. En viss igenväxning av området hade redan skett år 2014. Andelen ytor med bar sand hade minskat och markvegetation samt små plantor av lövträd och tall hade börjat växa in i området. För att fortsätta restaureringen i delområde B röjdes trädplantor bort och vegetationen tuktades med olika omgångar av naturvårdsbränning (Sand Life, 2014).



Figur 11. Karta över Ängelholms strandskog med restaureringsområdena A och B utmärkta (bilden är beskörd men skalan korrekt). Källa: Sand Life, restaureringsplan för Natura 2000-området Ängelholms strandskog, 2014. Bilden är använd med tillstånd från Stiftelsen Skånska Landskap.

Restaureringen av Delområde A, vilket studieområdet för den här rapporten är en del av, se figur 11, påbörjades höst och vinter år 2013 till 2014 med gallring och avverkning av bergtall, svarttall, vitgran och sitkagran med flera. Under januari och mars 2014 togs stubbarna bort och vresrosor grävdes upp i de södra delarna. Öppna sandytor, så kallade sandblottor skapades och sanden sållades från rötter och modellerades till nya dyner. De norra delarna av området ska även de röjas från vresrosor och få sanden sållad längre fram. År 2016 då rapporten skrevs var detta ännu inte färdigställt (Rosell, 2016). Ortofoton (flygfoton) för hur studieområdet såg ut före borttagningen av vegetation år 2010 samt efteråt i november 2014 visas i figur 12.



Figur 12. Ortofotografier över studieområdet. Till vänster visas hur området såg ut år 2010 och till höger hur det såg ut i november efter Sand Lifes borttagning av vegetationen 2014.

Enligt Sand Lifes restaureringsplan (2014) för Ängelholms strandskog så sker skötselåtgärder för båda delområden fram till december 2017. Efter det, från januari till juli 2018, ska en uppföljning av skötselåtgärderna göras med hjälp av inventeringar och flygfotoanalyser. Även enstaka naturvårdsbränningar och röjningar kan behövas göras under 2018 (Sand Life, 2014).



Figur 13. Foto från 2012 på de bevuxna dynerna precis norr om studieområdet.
Foto: Elisabeth Magnusson, SGU. Fotot används med tillstånd från fotografen.



**Figur 14. Foto från augusti 2016 på den norra obevuxna dynen inom studieområdet.
Foto: Kärstin Malmberg Persson, SGU. Fotot används med tillstånd från fotografen.**

2. Bakgrund

I det här kapitlet redovisas den litteraturstudie som gjorts för att beskriva de processer som bildar och eroderar sanddyner samt vilken påverkan strandvegetationen har på dessa.

2.1 Eolisk sandtransport

Dyner i kustområden formas och byggs upp av eolisk transport (vindtransport) och avlagring av sediment så som sandpartiklar (Luna et al., 2011). Sandpartiklar har en kornstorlek på 0,05 – 2 mm i diameter och består till största delen av kvarts (SiO_2). Kvarts har en densitet på 2650 kg/m^3 , vilket är mer än 2000 gånger tyngre än densiteten för luft. När vinden blåser över en sandbädd påverkas sandkornen av släpkraft och lyftkraft. Släpkraften (F_d) verkar horisontellt med bäddens yta i samma riktning som vinden blåser se ekvation 2.1, där β är en empirisk konstant som inkluderar sandbäddens egenskaper, exempelvis dess packning av sand, ρ är sandens densitet, u_* är skjuv-hastigheten och d är sandkornets diameter (Herrmann, 2004).

$$F_d = \beta \rho u_*^2 \frac{\pi d^2}{4} \quad (2.1)$$

Lyftkraften (F_l) i sin tur verkar lodrät upp från släpkraften och uppstår genom att det blir en skillnad i statiskt tryck ovanför och nedanför sandkornet. Tryckskillnaden skapas av att det blir en stark hastighetsgradient av luften i markytan. Lyftkraften kan beskrivas med formel 2.2, där Δp är den statiska tryckskillnaden, C_L är en konstant = 0,0624 och v är luftens hastighet $0.35d$ över referensnivån.

$$F_l = \Delta p \frac{\pi d^2}{4} = C_L \rho v^2 \frac{\pi d^2}{2} \quad (2.2)$$

Gravitation och tröghet är de två krafter som främst motverkar sandtransporten, där gravitationen (F_g) är mest avgörande då den direkt motarbetar lyftkraften. Gravitationskraften på ett sandkorn kan beskrivas med ekvation 2.3, där ρ' är skillnaden mellan densiteten för kvarts och densiteten för luft, det vill säga sandkornens reducerade densitet då det är i luften och g är tyngdaccelerationen.

$$F_g = \rho' g \frac{\pi d^3}{6} \quad (2.3)$$

Sandkornen överst i sandbädden förflyttas med vinden då de eoliska krafterna, släp- och lyftkraft, överkommer kornens gravitation. Detta kan beskrivas med en balans av moment runt en rotationspunkt i kornet.

$$F_{d\frac{d}{2}} \cos \theta = (F_g - F_L) \frac{d}{2} \sin \theta \quad (2.4)$$

När sandkornen väl är i rörelse och uppe i luften påverkar de varandra och sandkornen som är kvar på bädden genom kollisioner. Vid en kollision mellan ett sandkorn i rörelse och ett som är stilla på marken, överförs rörelsemängd till det stilla sandkornet. Detta gör att dess massbalans förändras och att dess tröskel för att börja röra på sig sänks. Det blir lättare för sandkornet att dras med i vindtransporten. Lutningen på markbädden i förhållande till vindens riktning samt gravitationen är faktorer som också påverkar tröskeln för inblandning av sandkornen i vindtransporten (Herrmann, 2004).

Rörelsesätten av vindtransporten av sandkornen över bädden kan indelas i de tre grupperna saltation, reptation och krypning. Saltation innebär att sandkornet lyfts upp i luften av lyftkraften och gör ett hopp med vinden i vindriktningen innan det faller ner på marken igen (Bagnold, 1937). Saltation av sandkorn kan påverka andra sandkorn till att göra mindre skutt på enbart ett par centimeter, transport via reptation, eller få sandkorn att rulla längs med markytan, så kallad krypning (Ungar och Haff, 1987, Kok et al., 2012).

2.2 Bildande av sanddyner

Formen på sanddynerna varierar beroende på vilken riktning vindarna har, hur mycket sediment som finns tillgängligt samt hur vegetationen i området är (Luna et al., 2011). Det finns flera olika typer av sanddyner och sandformationer som är vanliga i kustlandskap, frontdyner och urblåsningrännor är två exempel vilka kommer att presenteras här och i kapitel 2.3.2. Dessa sandformationer ansågs som mest lämpliga i arbetet eftersom de stämmer överens med den dynbildningen som sker i studieområdet Ängelholms strandskog.

Den första dynraden mot havet, **frontdyner**, är sanddyner som ligger parallellt med kustlinjen i övre strandzonen. Frontdynerna formas genom eolisk avlagring av sand vid vegetation (Hesp och Walker, 2013).

Begynnande/embryonala frontdyner är nyskapade sanddyner under utveckling som har bildats i nya plantsamhällen. Hur dessa dyner sedan formas vidare beror på en rad olika faktorer, varav de främsta är vegetationen, vindhastigheten samt graden av sandtransport i området. Vegetationens densitet, höjd och utspridning påverkar vindens retardation och därmed var och i vilken grad som sanden avlagras. Vid ökad vindhastighet blir vegetationen på dynen strömlinjeformad vilket tillåter vinden att blåsa förbi och förflytta mer sand igenom och ner på dynens lä-sida. Detta skapar längre och lägre sanddyner. Om graden av sandtransport vid dynen är hög kan växterna vid dynen dränkas av sanden och dö, eller bli så pass överösta med sand att de inte längre effektivt påverkar vindens flöde (Hesp och Walker, 2013). Mer om vegetationens påverkan på dynmorfologin beskrivs i kapitel 2.5 nedan.



Figur 15. Artificiella frontdyner längre norrut på Ängelholms strand. Dynerna är fodrade, det vill säga att sand har fyllts upp mot erosionsbranten.

Foto: Martin Bernhardsson. Fotot används med tillstånd från fotografen.

Etablerade frontdyner är dyner som utvecklats från begynnande frontdyner. De är antingen på den främsta raden av dyner mot kusten, eller ligger bakom en begynnande frontdyn. Deras morfologi är mer komplicerad gällande höjd, längd, ålder och placering i landskapet. De har ofta en större täckning av medelstora växter. En etablerad frontdyn påverkas av samma faktorer som nämnts för de begynnande frontdynerna ovan. Höjden på en etablerad frontdyn varierar beroende på hur utsatt den är av erosion från vågor eller stormar, hur mycket sediment som tillförs, och till vilken grad plantorna växer ut mot kusten. Såvida en etablerad frontdyn inte utsätts för hög eller ökande erosion

gäller det generellt att den växer sig större och bredare ju längre tid den står på stranden (Hesp och Walker, 2013). Om det sker ackumulation (ansamling) av sediment på platsen kan dynerna bli lägre eftersom nya frontdynen ständigt växer till framför de befintliga frontdynerna (Psuty, 1988).

2.3 Sanddynernas roll som skydd vid stormar

Stränder och sanddynen har en viktig skyddsroll för kusten och för innanföriggande samhällen. Dynerna dämpar vågornas energi, skyddar mot vågöverspolning och fungerar som sedimentbuffert under stormar. Skyddet som dynerna ger är inte detsamma längs med hela stranden utan varierar med deras geomorfologiska egenskaper, så som dynernas höjd eller bredd. De områden som är bäst skyddade för starka stormar är de områden där dynerna är höga (> ca. 4 m), byggnationen ligger en bra bit in ifrån kusten (ca. 150 – 200 m) och där stranden är bredare (Taylor et al., 2015).

2.4 Erosion av sanddynen

En strand har både plötsliga profilförändringar till följd av stormerosion samt årliga regelbundna förändringar i form av sommar- och vinter-profiler. Sommarprofil innebär att stranden har ett brett strandplan med en mjuk profil ut i havet. Vinterprofil i sin tur innebär att stranden har ett mycket smalare, ibland nästan obefintligt strandplan och ut i havet har den en eller flera kustparallella sandrevlar. Att en strand varierar mellan dessa två profiler beror på att sanden under året förflyttas från strandplanet till revlarna och vice versa. Volymen av sand som ingår i de båda profilerna är relativt konstant. Vinterprofilen uppstår under stormiga perioder med höga vågor. Det är då som vågorna kan erodera och transportera bort sanden ifrån strandplanet. Vinterprofilen kallas därför ofta även för stormprofil. Under den del av året då vågaktiviteten istället är låg sker det motsatta. Sand transporteras in till stranden från revlarna och strandplanet återuppbyggs igen och formar en sommarprofil (Komar, 1976).

Sommar- och vinterprofil skiljer sig även när det gäller utsatthet för plötslig erosion av storm. Det breda strandplanet i sommarprofilen skyddar innanföriggande dyn och konstruktion från vågor. Därför blir erosionen mindre vid storm på sommarprofiler. Erosionen blir större på vinterprofiler eftersom strandplanet är smalt och därmed kan kraftigare vågsvall nå dynen och struktur längre in. Samtidigt skyddas stränderna av revlar som bryter vågorna innan de når stranden (Komar, 1976).

2.4.1 Dynerosion av vågor

Hur dynerna vid kusten påverkas av vågor vid stormar kan indelas i fyra olika typer:

1. *Vågsvall*; vågorna når endast upp och orsakar erosion på kustlinjeslätten vilket återhämtar sig snabbt och resulterar i att det inte blir någon större skillnad av sandmängd på stranden.
2. *Kollision*; uppspolningen kolliderar med basen av den främre dynraden. Vågorna skapar då en erosion och tar med sig sand från sanddynen.
3. *Överspolning*; vågorna sköljer över främre dynraden och spolar in sand mot land samtidigt som det sker en erosion på frontdynen.
4. *Översvämning*; då hela främre dynraden är översvämmad med vatten (Silva et al., 2016).



Figur 16. Utsikt över havet från studieområdet den 27:e oktober 2016. Vindhastigheten var cirka 6 m/s. Källa: Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, SMHI, mätstation Barkåkra. Foto: Janna Lindell

När vågor genom kollision angriper en dyn påverkas den genom erosion så att dynen får en brantare sida mot kusten. Om kollisioner pågår under en längre period gräver det ut sediment från dynfoten vilket skapar ett överhäng, ett erosionshak, av den övre delen av dynen. Detta leder till att det uppstår spänningar i den övre delen och synliga sprickor uppstår i framkanten av dynen. Till slut gör spänningen av överhänget och sprickorna att sanden i övre delen faller eller glider nerför dynen som åter får en vertikal framsida.

Sedimentet som fallit ner lägger sig vid dynfoten och utgör ett temporärt skydd mot vågorna innan det sköljs bort (Erikson et al., 2007). Hur sårbar kusten är mot stormar beror delvis på hur höga sanddynerna är samt hur väl de återbildas efter stormerosion (Durán och Moore, 2013).

I den här studien utreds hur sanddynerna i studieområdet har påverkats av vågerosion, främst kollision se kap 3.7. För att räkna ut mängden av sediment som eroderat från en sanddyn (q_D) används formel 2.5 där C_s är en platsspecifik empirisk konstant, R' är den friktionskorrigerade uppspolningshöjden, z_D är avståndet från medelvattennivån till dynfoten, T är vågperioden och Δt är tidsteget (Larson et al., 2004, Larson et al., 2016). Formlerna nedan är hämtade från Larson et al. (2016).

$$q_D = \frac{4C_s(R' - z_D)^2 \Delta t}{T} \quad (2.5)$$

För att räkna ut z_D används formel 2.6, där D_{berm} är höjden från medelvattennivån till dynfoten och svn är stillvattennivån.

$$z_D = D_{berm} - svn \quad (2.6)$$

Den friktionskorrigerade uppspolningshöjden, R' , räknas ut med hjälp av formel 2.7 där R är den okorrigerade uppspolningshöjden, c_f är en friktionskoefficient och ybd är avståndet från strandlinjen till dynfoten.

$$R' = R e^{-2 \cdot c_f \cdot ybd} + z_D (1 - e^{-2 \cdot c_f \cdot ybd}) \quad (2.7)$$

Den okorrigerade uppspolningshöjden, R , räknas ut med formel 2.8 där H_0 är våghöjden och L_0 är våglängden på djupt vatten (Larson et al., 2016).

$$R = 0.158 \sqrt{H_0 L_0} \quad (2.8)$$

2.4.2 Eolisk dynerosion - Vinderosion

För att fin kvartssand ska börja att transporteras med vind krävs en vindhastighet på cirka 7 m/s på en nivå på en meter över marken. Om sanden istället är grov, behöver vindhastigheten överstiga 15 m/s (Norrman, 1967). Sand transporteras lättast om den är torr. Över bar sand minskar vindens hastighet relativt långsamt och jämnt ner mot marken. Om det däremot finns

gles vegetation påverkar detta så att vindens hastighet minskas snabbt i området närmast markytan. Sand transporteras därmed lättare över öppna sandtytor medan den snabbare avlagras i områden med vegetation (Norrman, 1967), mer om detta se kap 2.5 nedan.

Urblåsningsrännor är runda gropar eller rännor i sandavlagringar som vinden har urholkat genom erosion. Urblåsningsrännor förekommer ofta i frontdyner eftersom dessa dyner är mer utsatta för erosion från vågor och vind. Processer som kan ge upphov till urblåsningsrännor är:

- Vågerosion följt av vinderosion; erosionen av vågor destabiliserar dynen genom att skapa erosionshak i eller avlägsna vegetation i dynen där vinderosion kan ta fäste.
- Vinderosion av områden med låg vegetation
- Flödesacceleration av vind i specifika områden i dynerna; vinderosionen ökas i områden mellan två topografiskt högt belägna punkter då det skapas en lokal flödesacceleration av luften i sådana zoner.

De flesta urblåsningsrännorna består av tre landskapsenheter; en erosions-deflations sänka, marginella erosionsväggar som omger sänkan och en depositions-lob. Urblåsningsrännor kan starta som små urholkningar eller rännor som med tiden breder ut sig och tar andra former. De kan utvecklas till att bli så kallade paraboliska sanddyner som är U-formade eller kan de på sikt stabiliseras med hjälp av att vegetation letar sig in i urholkningen och hjälper till att fästa sanden. Evolutionen av urblåsningsrännan beror även på hur vegetationen varierar över tiden, vindförhållanden, utsatthet för stormar, om nya frontdyner bildas och täpper igen ingången till rännan eller om sänkan når nivåer med fuktig sand som är tyngre för vinden att förflytta (Hesp och Walker, 2013).



Figur 17. Urblåsningsrännan i frontdynen norr om studieområdet. Vegetationen har här åter börjat växa in i rännan och stabilisera dynen.

Foto: Janna Lindell

2.4.3 Erosion i artificiella sanddyner

Att skapa artificiella dyner som skydd mot stormar är vanligt förekommande. Dock visar Morton et al. (1994) i sina studier att konstgjorda dyner kan ha sämre motståndskraft mot erosion och kan bli påverkade på ett annat sätt vid stormar än vad naturliga dyner blir. Även när inhemska växter planteras på de artificiella dynerna är det möjligt att dessa utvecklar ytligare rotsystem då de inte varit med och utvecklats tillsammans med dynens tillväxt. Därför kan konstgjorda dyner vara känsligare för erosion av vågor och därmed erodera snabbare än naturligt skapade dyner (Morton et al., 1994, Morton, 2002).

2.5 Vegetationens inverkan på vindtransport och erosion av sanddyner

Att dynernas morfologi påverkas av strandens vegetation har nämnts tidigare i rapporten under kapitel 2.2. I det här avsnittet fördjupas den studien. Men först förklaras vad som sker på sandstränder som helt saknar vegetation.

Ett sandmarksområde som helt saknar vegetation men har ett omättat inflöde av sand och är utsatt för återkommande vindar är instabilt och utvecklar dyner som migrerar i vindens riktning. Om tillgången på sand istället är liten, är sandförlusten större än sandtillgången i området och det formas små

migrerande dyner vilka snabbt minskar i volym och försvinner. Inga beständiga dyner formas, utan de blåses bort av vinden i vegetationslösa områden. Alltså krävs det ett högt inflöde av sand för att forma dyner i en sådan miljö (Luna et al., 2011). När det istället gäller stränder som har vegetation fann Luna et al. (2011) i sina studier att även om inflödet av sand är lågt bildas det dyner i området när det finns vegetation tillgängligt. Ju högre sandtillförseln i det bevuxna området är, desto snabbare bildas det nya dyner eftersom sanden snabbare avlagras mot dynen (Luna et al., 2011).

Sanddynernas morfologiska utveckling beror huvudsakligen på strandvegetationens densitet, distribution, täckning och höjd samt vindhastighet och graden av sandtransport (Hesp, 2002). När vinden blåser över stranden påverkar vegetationen vindens flöde. Dess hastighet minskas drastiskt vid växterna, får en lokal acceleration runt dem samt får en flödesseparation bakom dem (Hesp, 2002). Detta skapar en råkhet (ett motstånd) som absorberar en del av den rörelsemängd som annars hade påverkat sandkornen. Skjuvspänningen på sandytan och även sandtransporten framför vegetationen minskar (Durán och Moore, 2013). Sandtuvor och skuggdyner bildas på grund av denna lokalt ökade dragkraft (isolerat råkhetsflöde) mellan och bakom växterna (Hesp, 2002).



**Figur 18. Början till nya dyner i Ängelholms strandskog (oktober 2016).
Foto: Janna Lindell**

Typen av vegetation som växer på stranden påverkar hur sanddynernas form utvecklas. Både studier och observationer i fält har visat att sanddynernas längd minskar och höjd ökar då växternas höjd ökar (Hesp, 2002, Van Dijk et al., 1999). Tätt och högt växande plantor reducerar snabbt vindens hastighet och sandtransporten, och mycket av sanden avlagras då vid dynens framkant. Detta gör att dessa dyner får en brantare kant mot vindriktningen (Hesp, 2002). Sandrör (*Ammophila*) som växer högt och tätt är ett exempel på en växt som tenderar just att ge högre, tuviga och toppiga sanddyner. Växter som är lägre och mer utspridda däremot, till exempel gräs (*Spinifex*) och vindeväxter (*Ipotomea*), tenderar istället att ge lägre och mindre tuviga dyner. Det är för att lägre växtlighet minskar vindhastigheten och sandtransporten långsammare och därmed ger en mer gradvis sandavlagring. Branten mot vindriktningen blir mer utdragen vid sådan låg vegetation. Längs en kustremsa varierar ofta sandtillgången samt vegetationen i både täthet, höjd, utbredning och arter, vilket gör att sanddynernas morfologi också växlar över området. De olika plantorna växer även olika mycket och har olika täthet under årstiderna, vilket i sin tur vidare påverkar sandtransporten och frontdynernas utveckling (Hesp, 2002). Även växternas rötter påverkar dynerna och dynerosionen. Ett tätare växtsamhälle har troligtvis även tätare rotsystem vilket kan binda sanden effektivare och därmed öka sanddynens stabilitet (Silva et al., 2016). Om vegetationstätheten på dynen minskas eller växterna tas bort, finns risken till att det initierar en urblåsningsränna i området (Hesp, 2002). Som beskrivet i avsnitt 2.4.2 ovan så kan även vegetationen breda ut sig i en urblåsningsränna till den grad att den stabiliseras (Hesp och Walker, 2013).

Det har visats med empiriska experiment i en vågränna att vegetation minskar erosionsskador på sanddyner vid korta individuella stormar. Vegetationen minskade även höjden av de erosionshak som bildades under de starka stormsimuleringarna i studien. Växterna minskar vågornas erosionskraft i dynerna genom att de bryter vågenergin med sin friktion och skapar turbulens (Silva et al., 2016).

Vegetationen har också betydelse för återuppbyggnaden av dyner mellan stormar, och då inte enbart för att binda sanden för att utveckla sanddynerna som beskrivet i kapitel 2.2. Om dynen kollapsar vid storm och vegetation faller ner framför så skapar det en start som en ny embryonal frontdyn kan bildas kring (Fredriksson, 2016).

3. Metodik

I det här kapitlet presenteras den data som använts under studien samt förklaras vilken metodik som använts för att utföra studien. För detaljerad beskrivning av analysstegen utförda i ArcMap och Excel se Appendix II-IV.

3.1 Data och använda program/analysmetoder

Datan som används i studien består av:

- Höjd-data (för april 2010, november 2014, och januari samt december 2015 av vilka det skapas höjdmodeller)
- Ortofotografier april 2010, november 2014, januari och december 2015 (flygfoton för fjärranalys av marktäckning)
- Uppmätta strandprofiler i fält från april och oktober 2016 samt januari 2017
- Uppmätta vinddata från Hallands Väderö och vattenståndsdata från Viken korrigerad med uppstuvningseffekt för stormarna Egon och Gorm 2015
- Uppmätta profiler med markradar från september 2016
- Uppmätta strandprofiler i fält från november 2014 samt januari 2015 använda för kontroll av mätnoggrannhet av höjddatan

Förklaringar på vad de olika datatyperna och analysteknikerna är och innebär presenteras nedan. En tabell över den använda datan visas i Appendix I. Programmet som användes för de spatiala analyserna var ArcMap 10.4.1 samt ArcScene 10.4.1.

Referenssystemet som användes var SWEREF 99 1330, med höjddatareferenssystemet RH 2000.

3.1.1 Höjd-data och LAS data-filer

LAS data-filer används för att lagra LiDAR (light detection and ranging) -data och andra typer av höjd-data (Esri, 2016a). LiDAR-data är en optisk fjärranalysteknik där lasersignaler skickas ut från till exempel ett plan eller en helikopter och sedan reflekteras mot marken. Reflektionen insamlas därefter av en optisk sensor. Resultatet blir ett tredimensionellt punktmoln med mätningar i både x-, y- och z-perspektiv som går att visualisera och använda till att skapa höjdmodeller i GIS (Esri, 2016b).

Den höjddata som används i det här projektet är från två källor. Datan från 2010 är hämtad från Lantmäteriets nationella höjdmodell av Ängelholms kommun. Under mätningarna togs ca 1 mätpunkt/m² med hjälp av laserskanning, så kallad LiDAR (Lantmäteriet, 2014). Höjd-datan från november 2014, januari 2015 och december 2015 samlades in av Metria AB på uppdrag av Ängelholms kommun. Vid insamlandet användes flygplanet SmartOne-C, ett UAS (Unmanned aerial system)-plan. Insamlingen av höjddata skedde med fotogrammetriska metoder, det vill säga genom tagning av en mängd av ortofoton som sedan mättes in med kontroll-rektanglar på marken (Martinez och Metria AB, 2015b, Martinez och Metria AB, 2015a, Martinez och Metria AB, 2016). Metria fick instruktioner från Ängelholms kommun att fokusera granskningen av höjddatan på området på och kring dynerna. Efter att datan samlats in granskades och korrigerades den för att delas in i klasser så som vegetation och mark. Upplösningen här är bättre än LiDAR-datan, räknat över studieområdet, men olika per mättillfälle. Mätningen i november 2014 har en densitet på 209 punkter/m², januari 2015 ca. 41 punkter/m² och slutligen december 2015 med ca. 53 punkter/m² inom studieområdet. Mätfelen är beräknade till knappt 1-2 centimeter i både vertikal- och horisontalled. Vid mätningstillfället i januari 2015 hade det dagen innan fallit nysnö på ca 1 cm, vilket är en felkälla i den mätta höjd-datan (Martinez och Metria AB, 2015b).

3.1.2 Höjdmodeller (DEM)

Höjdmodeller, också kallade DEM (digitala elevationsmodeller), består av höjddata och används för att beskriva markytans topografi. Höjddata kan lagras i både raster- och vektorform. Raster kan beskrivas som ett rutnät där varje ruta, eller cell, har ett värde. Vektordata i sin tur lagrar data i form av enskilda geometriska objekt i form av punkter, linjer eller polygoner. I det här projektet används data som är lagrad som vektordata i form av ett 3D punktmoln, det vill säga Las-data, som sedan görs om till raster-form. Punktmolnet innehåller höjdpunkter med x-, y- och z-koordinater (Harrie, 2013).

3.1.3 Fjärranalys

Fjärranalys innebär att data insamlas på avstånd, till exempel genom flygfoton (ortofoton) från flygplan, helikopter eller liknande. Den här typen av analys används för att analysera, kartlägga och bedöma större områden effektivare (Harrie, 2013). I den här rapporten används fjärranalys för att uppskatta

förändringen i vegetation och sandutbredning i studieområdet, se kap 3.2, samt för att studera höjdmodeller.

3.2 Analys av marktäckning och sandspridning i flygfoton

För att studera hur vegetationen i området har förändrats över tiden användes ortofoton från april 2010, november 2014 och december 2015 klippta längs strandplanet strax framför dynen samt en bit in skogsdelen. Upplösningen av dessa foton är 10 cm för april 2010, samt 5 cm för både november 2014 och december 2015. Ortofotot från januari 2015 användes inte eftersom nysnön på fotot ansågs ge för stora felkällor i klassificeringen. Nya översiktliga kartor digitaliserades med hjälp av ortofotografierna där vresrosor, skog, strandråg/sandrör, sand och låg vegetation ritades in som egna klasser. De olika klassernas areor räknades därefter ut. Klassen dyngräsvegetation definierades som växtlighet av sandrörstyp, det vill säga likartad växtlighet så som strandråg och annat dyngräs. Som låg vegetation räknades marktäckande vegetation likt kort gräs och mossor. Träd samt de buskar som inte var vresrosor klassificerades som skog. Resultatet visas i kapitel 4.1.

Flygfotografierna från april 2010, november 2014 och december 2015 användes sedan även för att undersöka sandens utbredning. Området som var barlagt från vegetation i november 2014 ritades in och jämfördes med hur sanden låg i december 2015 för att visa på sandens spridning. Resultatet visas i kapitel 4.1.

3.3 Studier av höjdmodeller i ArcScene

För att få en överblick i 3D över hur dynlandskapet såg ut innan borttagningen av vegetationen och hur det utvecklats därefter, skapades modeller av området i ArcScene 10.4.1. I programmet användes höjdmodeller i rasterform som interpolerades fram från LAS-datan (höjddatan) från april 2010, november 2014 samt januari och december 2015. Interpolationsmetoden som användes var avståndsviktad medelvärdesinterpolation (*Inverse Distance Weighting*, IDW). IDW är en lokal interpolationsmetod som tar hänsyn till att de mätpunkter som ligger närmast cellen får högre betydelse för cellens interpolerade värde än de mätpunkter som ligger längre bort (Harrie, 2013). Upplösningen valdes till 1 meter då detta ansågs ge en rimlig presentation av datan och dess täthet. Sökradien för vilka mätpunkter som skulle tas med i interpolationen till varje raster-cell var de 12 närmaste punkterna (standardläge i funktionen). För att minimera risken för felaktigt klassificerade och

korrigerade mätpunkter i höjddatan avgränsades studieområdet för höjdmodellen till att innehålla så lite av skogspartiet (där risken för fel bedömdes vara störst) som möjligt och minimum och maximumvärdena i rastret kontrollerades så att de verkade rimliga för området. De olika rasterna anpassades även så att deras celler överlappade korrekt sinsemellan för att undvika felaktigheter vid jämförelser. Den del av studieområdet som valdes att visualiseras i resultatet fokuserar på området kring där vegetationsborttagningen även skett i frontdynen, då detta området visade på den tydligaste förändringen. För att synliggöra topografin och tydliggöra höjdskillnaderna i höjdmodellen användes en förställd höjdskala som sattes till 3,7.

3.4 Studier av höjdmodeller och volymförändringar

Höjdmodellerna från november 2014 samt januari och december 2015 som interpolerats fram enligt beskrivningen ovan i kap. 3.3 användes för att räkna på hur strandens markhöjd har förändrats mellan mättillfällena. Området som undersöktes är hela det område där vegetationen tagits bort helt samt intilliggande bevuxna kontrolldynen. De olika rasterna jämfördes (november 2014 med januari 2015, och januari 2015 med december 2015, samt november 2014 med december 2015) genom att höjdvärdena för det äldre rastret subtraherades från det yngre rastret. Resultatet blev ett nytt rasterlager som visar på förändring i höjd under tidsperioden höjdmodellerna emellan. Resultatsrasterna delades in i sju klasser där en kontrollklass skapades för förändring med plus/minus 0,2 m som buffert för eventuella felkällor. Skillnaden i sandvolym inom det obevuxna området, där vegetationen togs bort 2014, räknades ut genom summering av värdena för höjdskillnaden inom området (vilket är samma värde som volymen då varje pixel i rastret är 1*1 m). Resultatet visas i kapitel 4.3.

3.4.1 Beräkning av erosion på frontdynen

För att undersöka hur frontdynerna påverkats av erosion undersöktes de genom studier på olika rektangulärt formade områden i framkanten av dynen. Områdena valdes så att både bevuxna och obevuxna dyner representerades utan störning av omgivningen, det vill säga längs med dynen vid uppskattad erosion och inte i övergången mellan obevuxen och bevuxen dyn. Undersökningsområdena placerades ut på samma del av stranden och dynerna vid de två jämförelserna av Egon och Gorm. Detta för att ge en representation av hur dynerna påverkas av liknande påfrestningar. Studierna gjordes på de raster som skapade enligt beskrivningen ovan i kap 3.3 som visar skillnaden i

markhöjd på stranden efter stormarna Egon och Gorm (det vill säga skillnaden november 2014-januari 2015 och januari 2015-december 2015). Inom varje rektangulärt undersökningsområde summerades höjdförändringen (vilket är samma värde som volymen då varje pixel i rastret är 1*1 m). Denna summa dividerades därefter på rektangelns/dynens längd längs med strandplanet för att få fram ett resultat i enheten m^3/m att jämföra och kalibrera den teoretiskt framräknade erosionen med, se kapitel 3.6. Resultatet visas i kapitel 4.3.1 och 4.5 (konstanten C_s).

3.4.3 Strandprofiler från höjdmodellerna

För att jämföra hur strandprofilerna förändrats under de fyra olika mättillfällena (april 2010, november 2014, januari 2015 och december 2015) extraherades fem stycken strandprofiler ur dessa höjdmodeller i ArcMap. En av profilerna togs från ett område med orörd vegetation, två profiler från där frontdynen har orörd vegetation men där vegetationen är röjd bakom och till sist två profiler där vegetationen är helt borttagen. Profilerna exporterades därefter och ritades upp i diagram i Excel, profil per profil, för att tydliggöra profilernas förändring över tiden. Resultatet visas i kapitel 4.3.2.

3.4.4 Dynernas utveckling från april 2010 till december 2015

Sanddynernas utveckling i markhöjd/sandvolym från april 2010, fram till december 2015, studerades genom jämförelse av olika områden i den be vuxna och obe vuxna dynen under dessa datum. Områdena för analys valdes efter studieområdets höjdmodell i april 2010. Varje undersökningsområde har sin start vid dynfoten och sitt slut vid dynfoten mot landsidan av dynen. Ett raster med skillnaden i markhöjd mellan april 2010 och december 2015 interpolerades fram på samma sätt som beskrivet ovan i kapitel 3.4. Inom varje undersökningsområde summerades höjdförändringen (vilket är samma värde som volymen då varje pixel i rastret är 1*1 m). Summan dividerades därefter på rektangelns/dynens längd längs med strandplanet för att få fram ett resultat i enheten m^3/m . Resultatet visas i kapitel 4.3.3.

3.4.5 Uppskattning av mätfel inom höjdmodeller

Eventuella mätfel inom höjdmodellerna från november 2014 och januari 2015 undersöktes genom jämförelse med uppmätta punkter från fält vid samma datum (26:e november 2014 och 21:a januari 2015). Punkterna hade uppmätts med en Topcon GR-3 GPS, inställt på Network-RTK med SWEPOS realtidsnätverk, vilken har en precision på $\pm 1-2$ cm i plan och $\pm 2-3$ cm i höjd. Skillnaden i höjd mellan dessa uppmätta punkter och höjdmodellerna från

samma datum räknades ut i ArcMap genom att motsvarande punkter i x- och y-led extraherades ur höjdmodellerna och jämfördes med de uppmätta punkterna från fält. Resultatet visas i kapitel 4.3.4.

3.5 Strandprofiler uppmätta i fält

Strandprofiler i studieområdet mättes även i fält med hjälp av en RTK-GPS, Topcon GR-3 som beskrivet ovan i kapitel 3.4.5 (den 27:e oktober 2016 och den 5:e januari 2017 cirka en vecka efter stormen Urd). GPS:en har en noggrannhet på centimeternivå i både horisontal- och höjddled. Dessa strandprofiler mättes ut så att de så mycket som möjligt skulle stämma överens med tidigare mätta strandprofiler från den 22:e april 2016 uppmätta av Caroline Fredriksson. Koordinaterna för strandprofilerna approximerades därefter i ArcMap till de tidigare mätta profilerna och exporterades till Excel där avståndet i x- och y-led räknades ut med hjälp av Pythagoras sats och profilerna ritades ut i grafer. För att lättare kunna jämföra strandprofilerna refererades de till samma linje på strandplanet. Den längsta profilen, profil 5, användes som grund. De andra profilernas läge justerades för att de skulle stämma överens med profil 5 på den del av strandplanet närmast vattnet där höjden är 0,5 m. Resultatet visas i kapitel 4.5.

Volymförändringen på frontdynen i de olika profilerna efter stormen Urd räknades ut i Matlab. Området på dynen som undersöktes var från dynfotens slut och nästan upp till toppen på dynen, det vill säga det område som bedömdes vara utsatt för erosion av havet och som inte var strandplan. Mätningarna från oktober 2016 och januari 2017 interpolerades därefter (med ett avstånd på 1 cm) och sedan subtraherades den äldre profilen från den yngre för att få förändringen i m^3/m , se resultat i kapitel 4.5. Detta värde användes sedan för att kalibrera den empiriska konstanten C_s för dynerna under stormen Urd, se kapitel 3.6 nedan.

3.6 Modellerings av dynerosionen

För att uppskatta vegetationens inverkan på dynerosion av vågor modellerades mängden sediment som eroderat från sanddynerna i Excel med hjälp av formlerna 2.5-2.8. Data på våghöjd och vågperiod erhöles av Caroline Fredriksson. Vågorna hade sedan tidigare beräknats med SPM-metoden (Shore Protection Manual)) från USACE (1984) med hjälp av vinddatan från Hallands Väderö. Resultatet hade därefter korrigerats med en minnesfunktion så att föregående beräkningars våg-egenskaper togs med i nästa tidssteg (Hanson och

Larson, 2008). Vattenståndsdaten kommer från SMHI:s mätstation i Viken och har korrigerats för lokal uppstuvning för Skälderviken. För mer ingående beskrivning av våg-, vind- och vattenståndsdata se Palalane et al. (2016). Värden på använda konstanter presenteras i tabell 1 nedan. Genom att jämföra den dynerosion som observerats i ArcMap, se kap 3.4.1 och 3.5, med den uträknade erosionen i Excel kalibrerades ett värde fram för den platsspecifika, empiriska konstanten C_s .

Tabell 1. Lista på de konstanter som använts vid uträkning av mängden sediment som eroderat på grund av vågor.

<i>Konstant</i>	<i>Värde</i>
D_{berm}	2 m
c_f	0,02
y_{bd}	50 m (mättes till detsamma för de tre stormarna)
Δt	3600 s (eftersom mätningarna är per timme)

3.7 Mätningar med markradar över dynen

För att undersöka hur dynernas sedimentlager påverkats av borttagningen av växter och silning av rötter gjordes mätningar med markradar. Att mäta med markradar kan jämföras med att ”röntga” dynerna för att se hur det ser ut inuti dem. Till mätningarna användes markradarn MALÅ ProEx tillsammans med MALÅ XV Monitor. Frekvensen som användes var 100 MHz. Mätningarna skedde i fält den 21 september 2016 tillsammans med Caroline Fredriksson och Martin Bernhardsson från LTH respektive LU. Resultatet från markradarmätningarna anpassade till dynernas topografi visas i kapitel 4.5.

3.8 Analyser av fotografier från fält 2016

Under fältbesöken i september och oktober 2016 togs fotografier som sedan användes som analysunderlag för att titta på hur dynen och vegetationen utvecklats. Resultaten visas i kapitel 4.6.

3.9 Kartläggning av uppspolning efter Urd

I fält observerades det att uppspolning hade skett under stormen Urd på de obevuxna dynerna. Området där vattnet spolats upp i dynen uppskattades genom observation av var havet lämnat drivved och tång. Därefter mättes det in med GPS och kartlagdes, se kapitel 4.7.

4. Resultat

I resultatdelen redovisas kartor och tabeller från studierna av södra området på Ängelholms strandskog. Först redovisas kartor på hur vegetationen förändrats från april 2010 till december 2015 och därefter följer interpolerade höjdmodeller med erosionsberäkningar och strandprofiler. Till sist presenteras resultat från mätningarna av strandprofiler och med markradar.

4.1 Sandspridning och marktäckning i flygfoton

Vegetationsförändringen i studieområdet har digitaliserats i tre kartor för åren 2010, 2014 och 2015 och visas i figur 19 med tillhörande ortofoton. Arealen av de olika marktäckningstyperna var för sig samt summerat vegetation och enbart sand visas i tabell 2 och 3.

Hur sanden spridit sig mellan november 2014 och december 2015 visas i figur 20 och areorna av de olika områdena med öppen sand samt sandens spridning mot skogen redovisas i tabell 4. Studieområdets totala area är beräknad till ca 164 300 m².

Klassificering av marktäckning



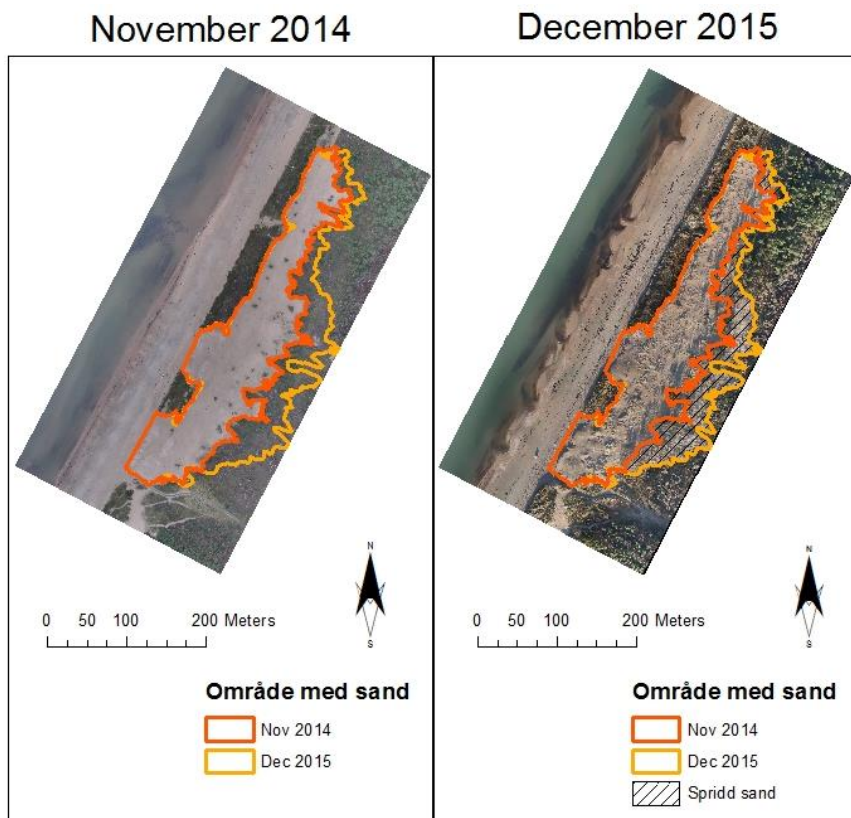
Figur 19. Klassificering av marktäckning i studieområdet i april 2010, november 2014 och december 2015. I kolumn "A" visas ortofoton för respektive år, och i kolumn "B" visas klassificeringen av marktäckningen för dessa.

Tabell 2. Areor över studieområdet som är täckta med vegetation respektive sand avrundat till hundratal.

<i>Datum</i>	<i>Vegetation (m²)</i>	<i>Sand (m²)</i>
<i>April 2010</i>	134 000	30 100
<i>November 2014</i>	97 700	66 400
<i>December 2015</i>	87 400	76 700

Tabell 3. Beräknad area av de olika marktäckningstyperna från klassificeringen avrundat till hundratal.

<i>Datum</i>	<i>Sand (m²)</i>	<i>Låg veg. (m²)</i>	<i>Dyngräs (m²)</i>	<i>Skog (m²)</i>	<i>Vresros (m²)</i>	<i>Asfalt (m²)</i>
<i>April 2010</i>	30 100	6 800	31 900	88 300	7 000	200
<i>November 2014</i>	66 400	31 300	18 000	43 000	5 400	300
<i>December 2015</i>	76 700	21 700	17 500	42 900	5 300	200



Figur 20. Kartor från november 2014 och december 2015 som visar området med bar sand och sandens spridning.

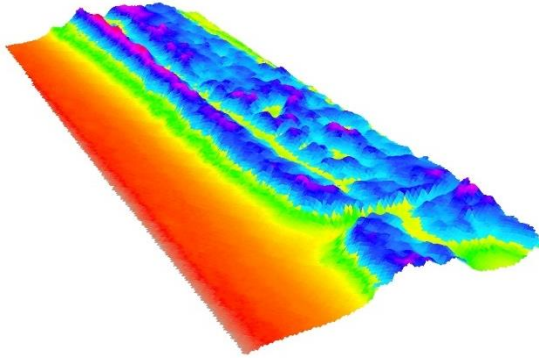
Tabell 4. Areor över områdena med sand i november 2014 och december 2015 samt arean för det beräknade området för sandspridning mot skogen avrundat till hundratal.

<i>Område</i>	<i>Area med sand (m²)</i>
<i>November 2014</i>	31 700
<i>December 2015</i>	45 600
<i>Område med spridd sand</i>	14 200

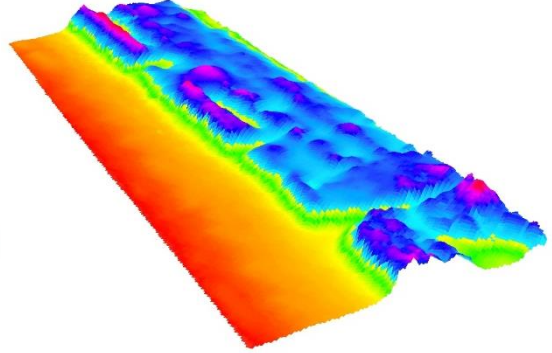
4.2 Höjdmodeller i ArcScene

Höjdmodellerna visualiserades i ArcScene med en förställd höjdskala på 3,7 för att bättre synliggöra skillnaderna i topografin, se figur 21.

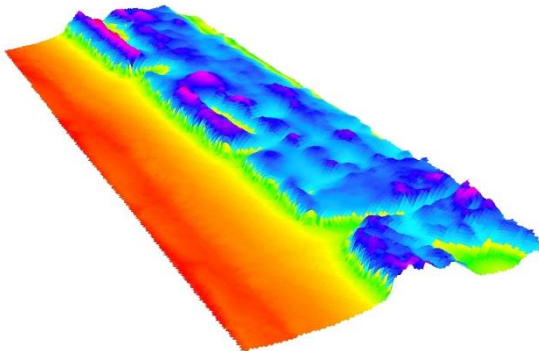
April 2010



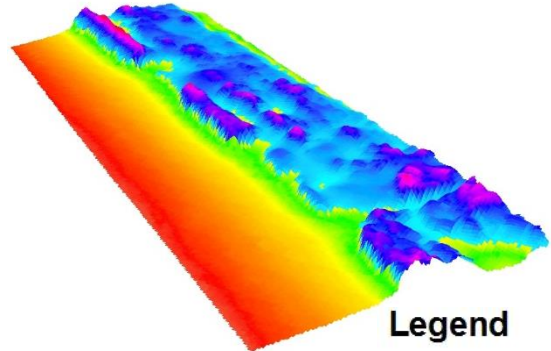
November 2014



Januari 2015



December 2015



Legend

Höjdmodeller

Meter

High : 6.6

Low : -0.3

Figur 21. Interpolerade höjdmodeller visualiserade i 3D för april 2010, november 2014, januari 2015 och december 2015. I verkligheten är rektangeln för detta studieområdet 343*129 m.

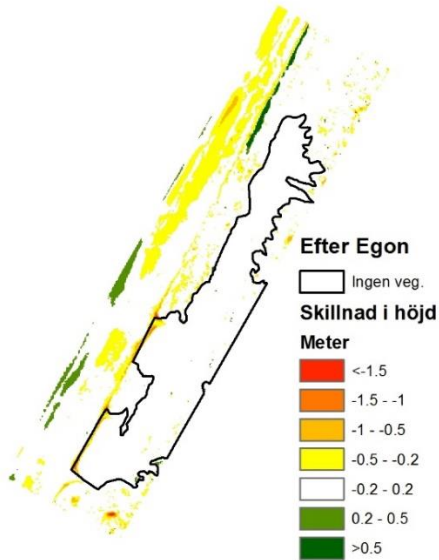
4.3 Höjdmodeller och volymförändringar

Skillnaden i markhöjd på strandområdet mellan perioderna november 2014-januari 2015 (Egon), januari 2015-december 2015 (Gorm) och november 2014-december 2015 visas i figur 22. Området som var vegetationslöst i november 2014 är markerat med svart linje. Den beräknade skillnaden av sand inom det vegetationslösa området visas i tabell 5.

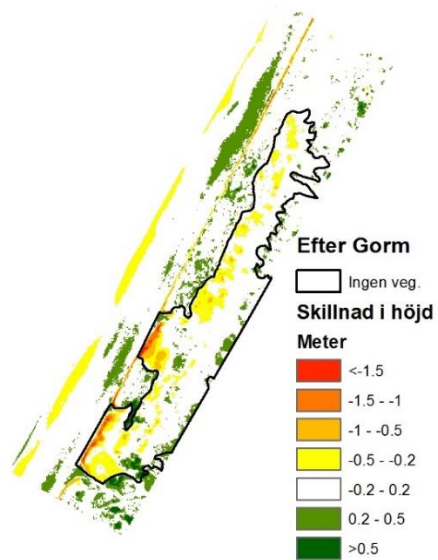
Tabell 5. Skillnad i sandvolym inom det vegetationslösa området avrundat till hundratal.

<i>Tidsperiod/storm</i>	<i>Volymförändring av sand (m³)</i>
<i>Egon (november 2014-januari 2015)</i>	-1500
<i>Gorm (januari 2015-december 2015)</i>	-2500
<i>November 2014-december2015</i>	-4000

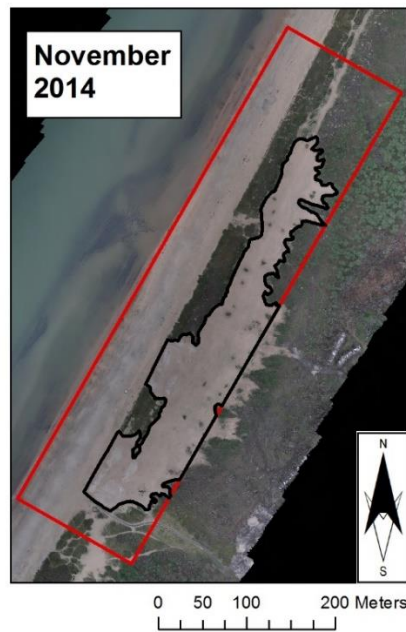
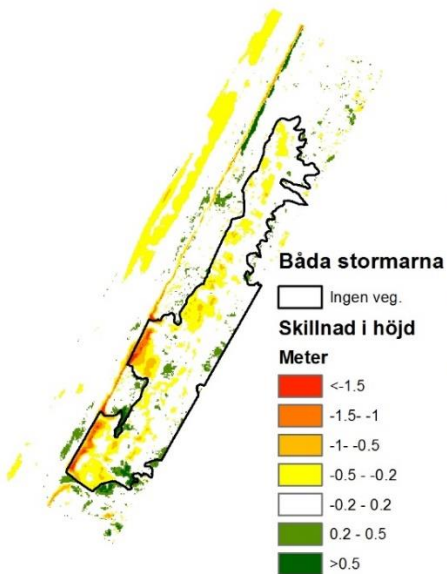
Skillnad nov 2014 - jan 2015



Skillnad jan 2015 - dec 2015



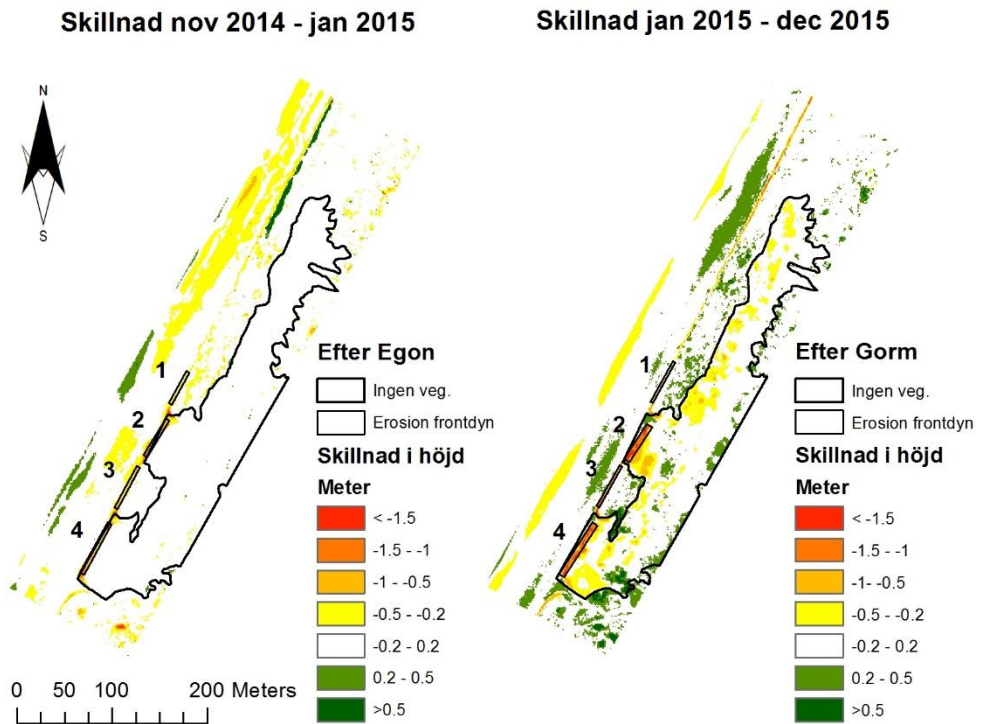
Skillnad nov 2014 - dec 2015



Figur 22. Skillnaden i höjd på stranden för de olika perioderna november 2014- januari 2015 (efter stormen Egon), januari 2015-december 2015 (efter stormen Gorm) och november 2014- december 2015 (båda stormarna). Studieområdet är markerat i ortofotot längst nere till höger med rött. Området där vegetationen togs bort år 2014 är markerat med svart linje.

4.3.1 Beräkning av erosion på frontdynen

De områden i differensen av höjdmmodellerna som användes i uträkningarna för erosionen på frontdynen visas i figur 23. Området som var vegetationslöst i november 2014 är markerat med en smal svart linje. Rektanglarna inom vilka frontdyn-erosionen beräknades är markerade med en tjockare svart linje och ligger parallellt med frontdynen. Dessa områden användes för att kalibrera fram värdet på konstanten C_s (se resultat i kapitel 4.5). Beräkningarna utav erosionen på frontdynen visas i tabell 6.



Figur 23. Områden där erosion i frontdynen beräknades samt vilka användes för att kalibrera fram den empiriska konstanten C_s .

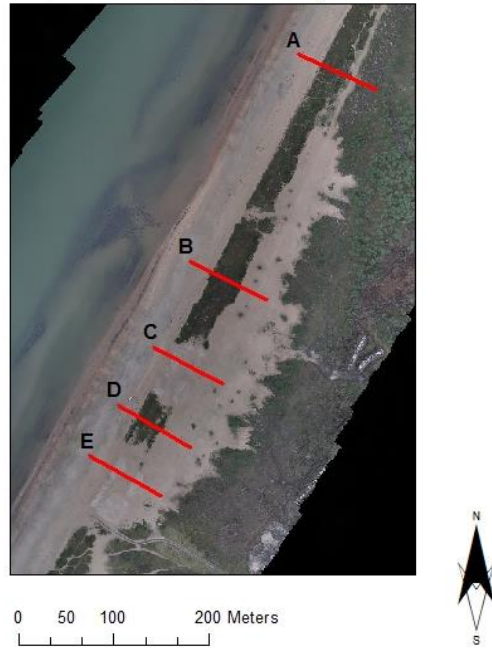
Tabell 6. Värden och resultat från uträkningar av områdena för erosion på frontdynen.

	<i>Rektangel (nr)</i>	<i>Typ</i>	<i>m³/m</i>
<i>Egon</i>	1	Bevuxen dyn	-1,06
	2	Obevuxen dyn	-3,44
	3	Bevuxen dyn	-1,36
	4	Obevuxen dyn	-2,32
<i>Gorm</i>	1	Bevuxen dyn	-0,82
	2	Obevuxen dyn	-8,23
	3	Bevuxen dyn	-2,03
	4	Obevuxen dyn	-6,28

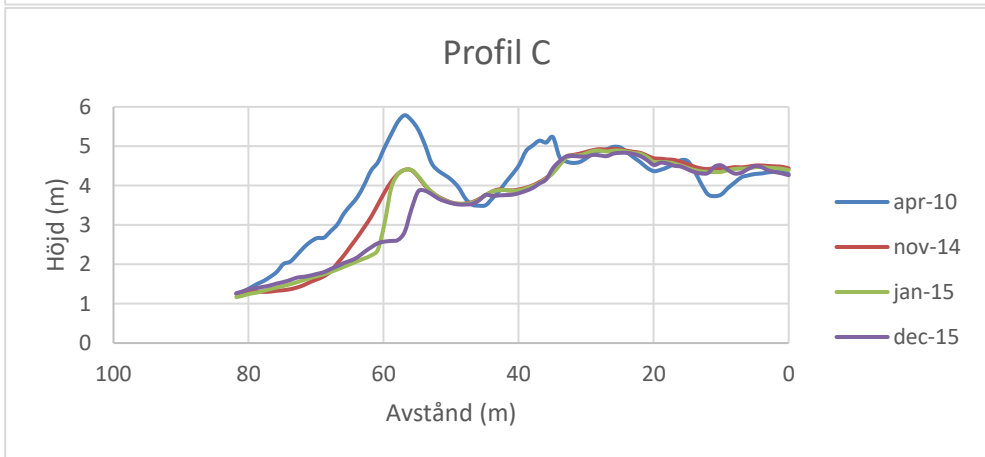
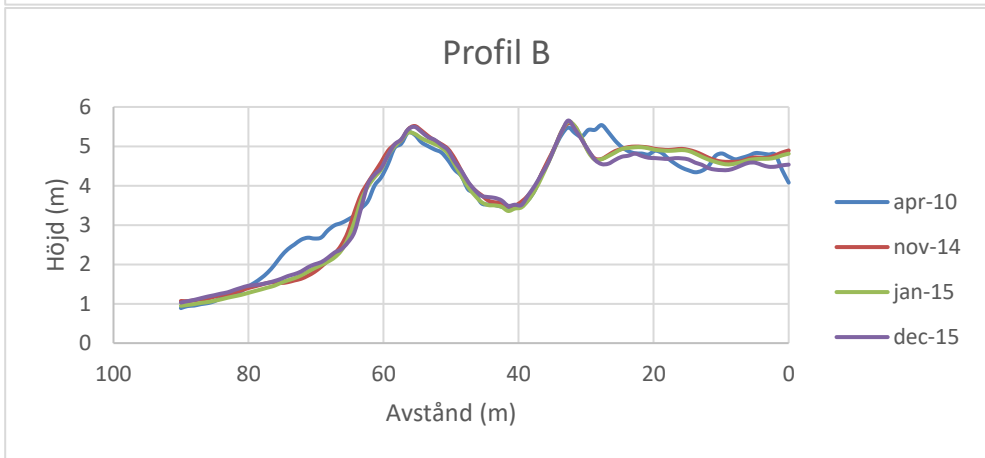
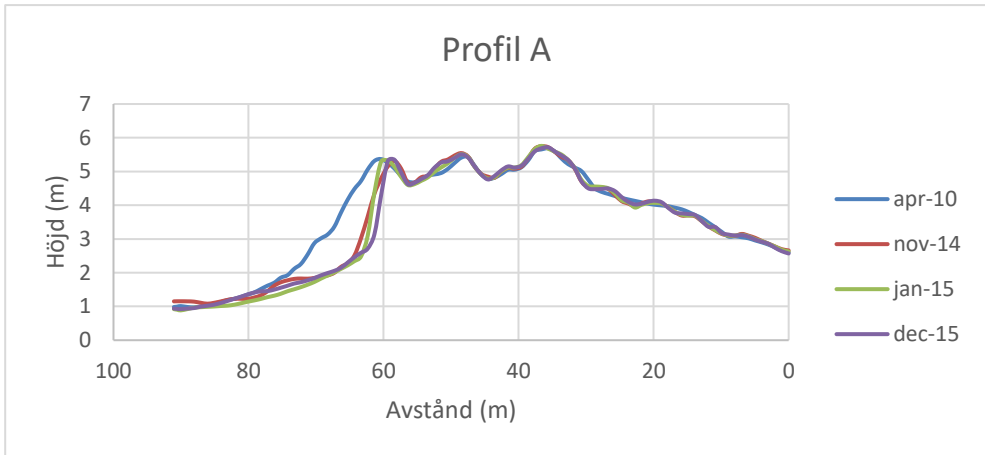
4.3.2 Strandprofiler från höjdmmodellerna

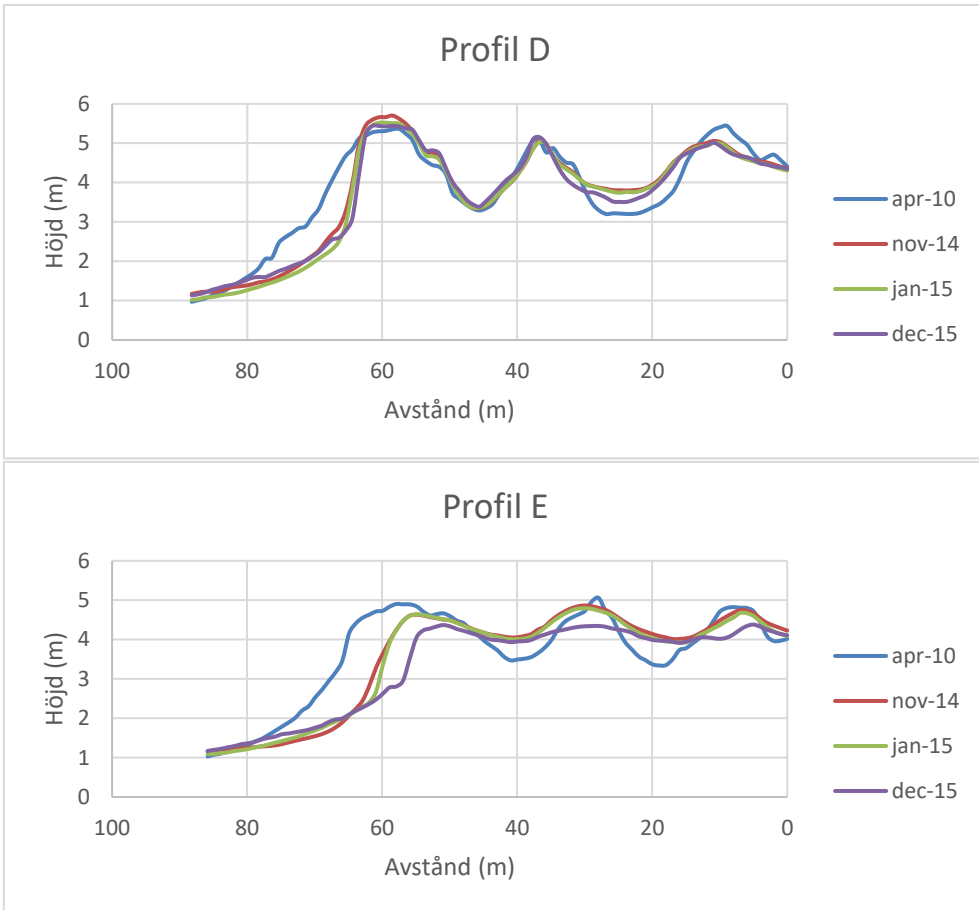
I figur 24 visas var på stranden som strandprofilerna ur höjdmmodellerna för datan från april 2010, november 2014 och januari samt december 2015 togs. I figur 25 a) till e) visas varje profil i tur och ordning med hur den förändrats över åren.

Strandprofiler tagna ur höjdmmodellerna



Figur 24. Placeringen av strandprofilerna som togs ur höjdmmodellerna visas som röda linjer över dynen i studieområdet. Ortofotot är från november 2014.

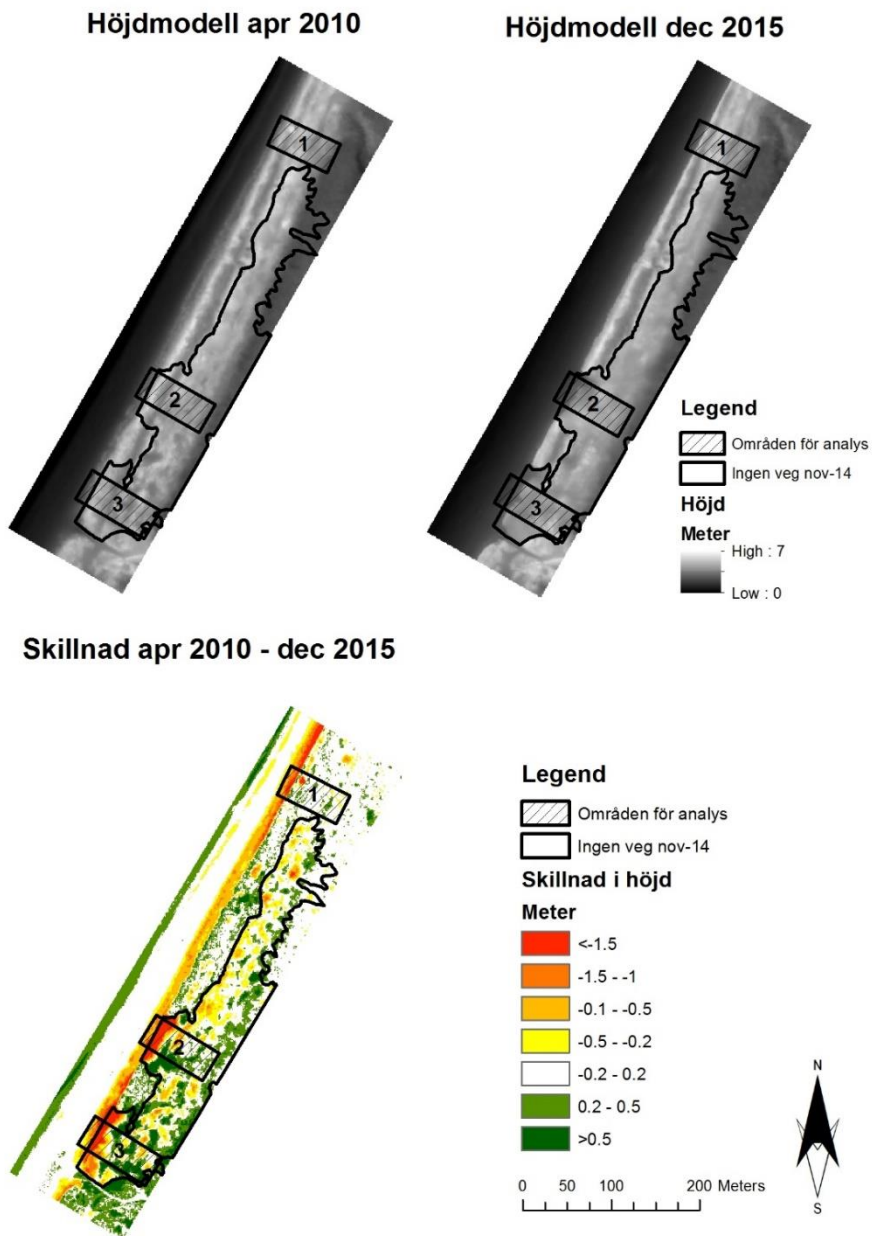




Figur 25 a) – e). Strandprofiler A-E uttagna ur höjdmmodellerna för april 2010, november 2014 samt januari och december 2015. Havet ligger till vänster om profilerna.

4.3.3 Dynernas utveckling från april 2010 till december 2015

Dynernas utveckling i markhöjd och sandvolym, från april 2010 till december 2015, visas i figur 26. Värdena för förändring av sandvolym inom respektive område visas i tabell 7.



Figur 26. På översta raden visas de interpolerade höjdmodellerna från april 2010 och december 2015. På den nedre raden visas skillnaden i höjd mellan dessa höjdmodeller. Områdena för analys är utritade som svartstreckade rektanglar och området där det inte fanns någon vegetation i november 2014 är utritad med svart linje.

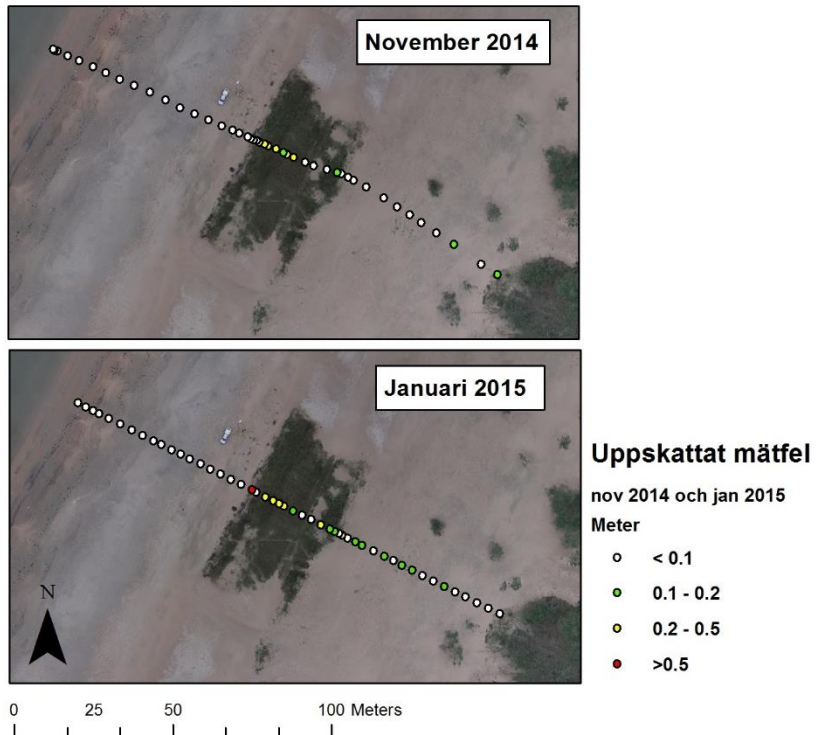
Tabell 7. Värden på förändringen i sandvolym avrundat till hundratal inom respektive område tillsammans med volymförändringen per strandmeter.

<i>Område</i>	<i>Volymförändring (m³)</i>	<i>m³/m</i>
<i>1 (bevuxet)</i>	-500	-14
<i>2 (obevuxet)</i>	-1100	-30
<i>3 (obevuxet)</i>	-700	-18

4.3.4 Uppskattning av mätfel i höjdmodeller

Skillnaden i markhöjd mellan höjdmodellerna och de uppmätta GPS-punkterna från fält från november 2014 och januari 2015 (det vill säga det uppskattade mätfeliet vid dessa datum) visas i figur 27. Medelmätfeliet inom den obevuxna dynen uppskattades till 0,07 m för november 2014 och till 0,10 m för januari 2015.

Uppskattat mätfel i höjdmodellerna

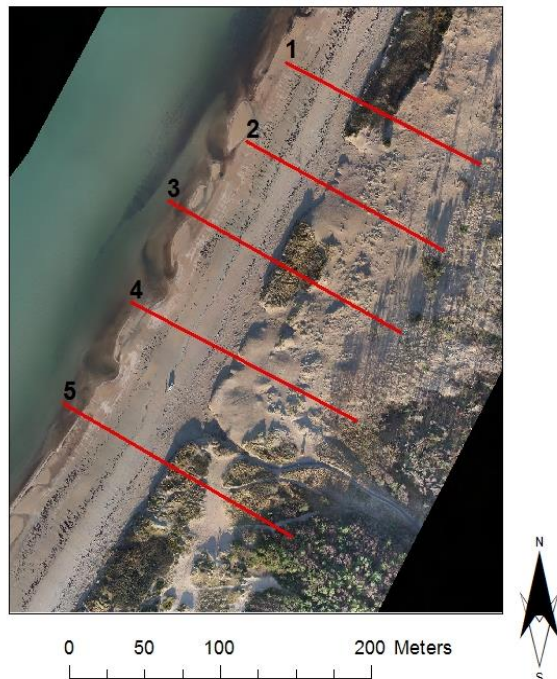


Figur 27. Uppskattat mätfel i höjdmodellerna från november 2014 och januari 2015.

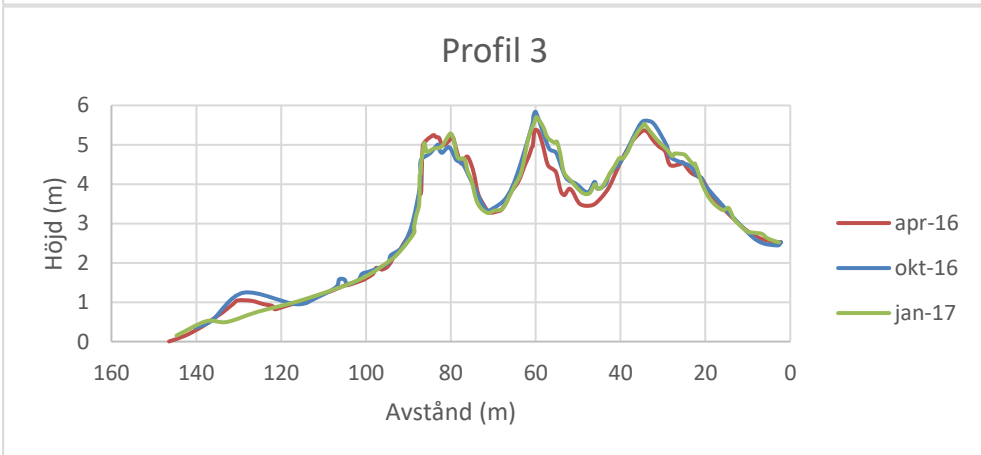
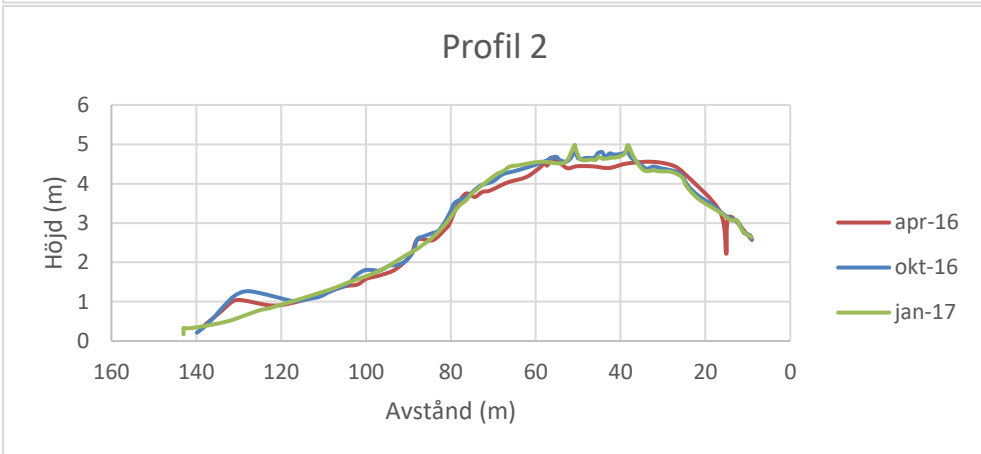
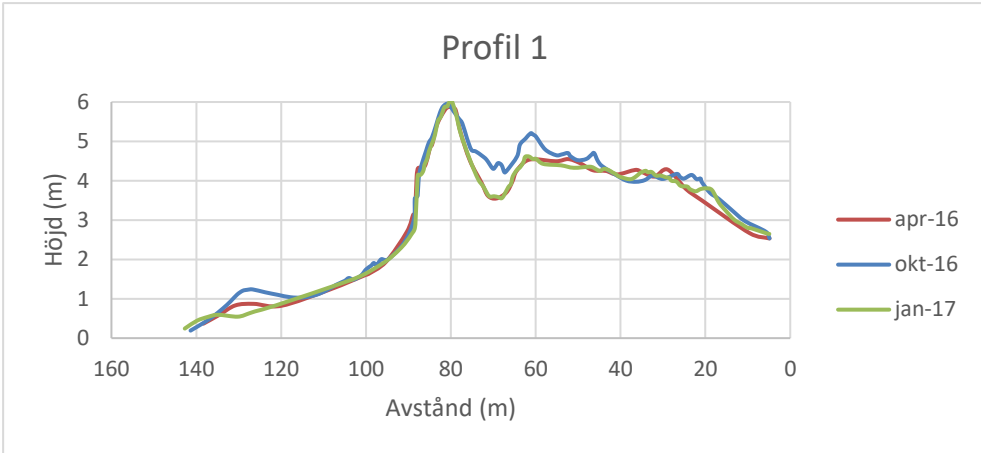
4.4 Strandprofiler uppmätta i fält

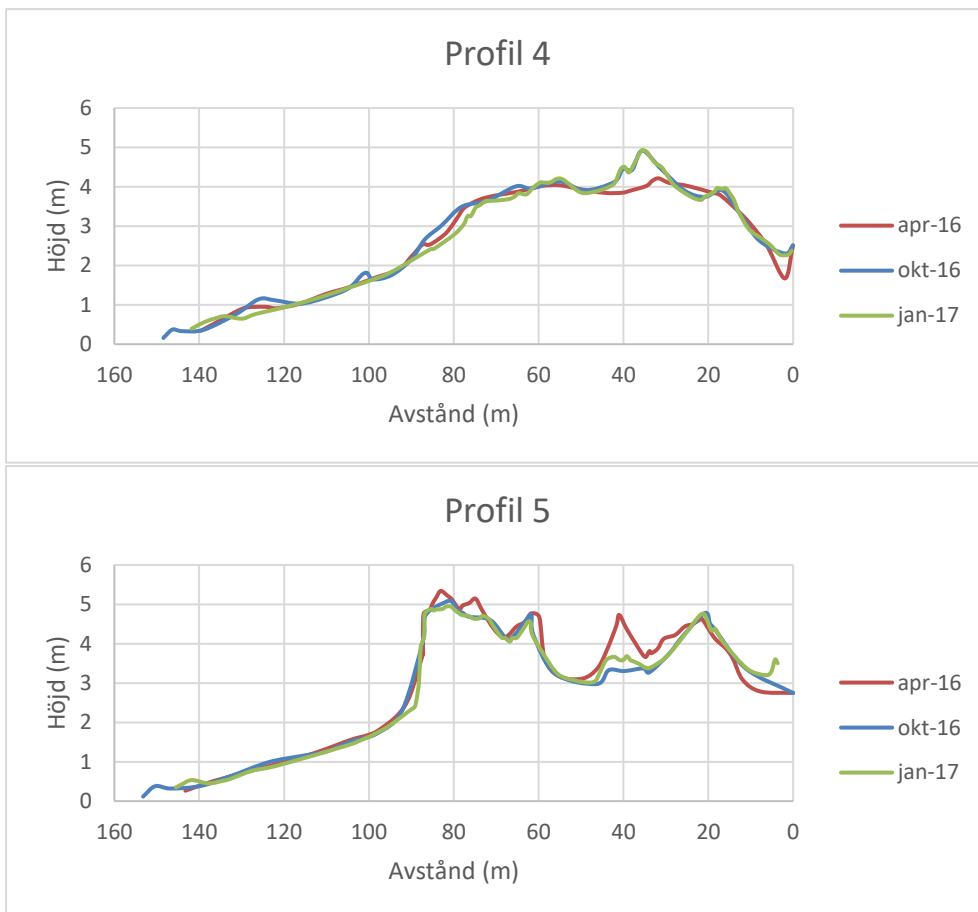
Figur 28 visar var studiens strandprofiler i fält är mätta. Figur 29 a) till e) visar de mätta strandprofilernas topografi i april och oktober 2016 samt i januari 2017 en vecka efter stormen Urd. Volymskillnaden i profilerna mellan oktober 2016 och januari 2017 visas i tabell 8.

Uppmätta strandprofiler



Figur 28. Karta som visar profilerna som uppmättes i fält i april och oktober 2016 samt januari 2017. Ortofotot är från december 2015.





Figur 29 a) – e). Strandprofiler 1-5 mätta i fält under april och oktober 2016. Havet ligger till vänster om profilerna.

Tabell 8. Uträkning av volymförändring på frontdynen under stormen Urd.

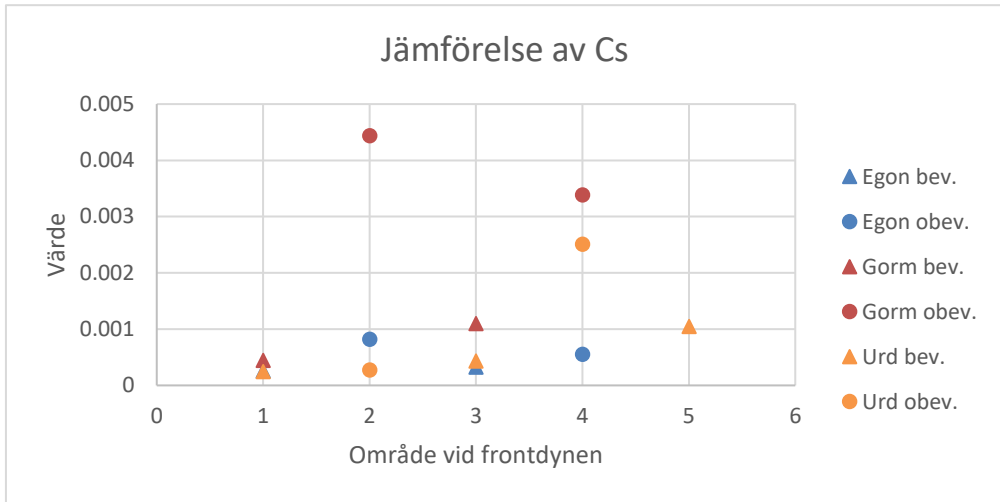
<i>Profil</i>	<i>Typ av frontdyn</i>	<i>m³/m</i>	<i>Kalibrerat värde på konstanten C_s (10⁴)</i>
1	Bevuxen dyn	-0,7	2,43
2	Obevuxen dyn	-0,78	2,70
3	Bevuxen dyn	-1,25	4,32
4	Obevuxen dyn	-7,25	25,05
5	Bevuxen dyn	-3,02	10,45

4.5 Modellering av dynerosionen

De kalibrerade värdena på den empiriska och plats specifika konstanten C_s för stormarna Egon, Gorm och Urd visas nedan i tabell 9 och figur 30. För närmre beskrivning av respektive dynområde (rektangel/profil) se kapitel 4.3.1 och kapitel 4.4.

Tabell 9. Resultaten från kapitel 4.3.1 och 4.4 samt de kalibrerade värdena för den empiriska konstanten C_s .

	<i>Rektangel/profil (nr)</i>	<i>Typ</i>	<i>Kalibrerat värde på C_s (10^4)</i>
<i>Egon</i>	1	Bev.	2,52
	2	Obev.	8,18
	3	Bev.	3,24
	4	Obev.	5,51
<i>Gorm</i>	1	Bev.	4,40
	2	Obev.	44,35
	3	Bev.	10,95
	4	Obev.	33,85
<i>Urd</i>	1	Bev.	2,43
	2	Obev.	2,70
	3	Bev.	4,32
	4	Obev.	25,05
	5	Bev.	10,45

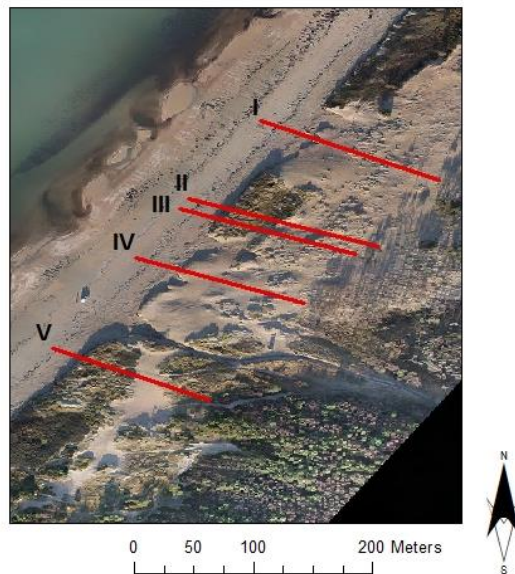


Figur 30. Diagram som jämför de olika kalibrerade värdena på Cs för stormarna Egon, Gorm och Urd i de bevuxna respektive obevuxna frontdynerna.

4.6 Mätningar med markradar över dynen

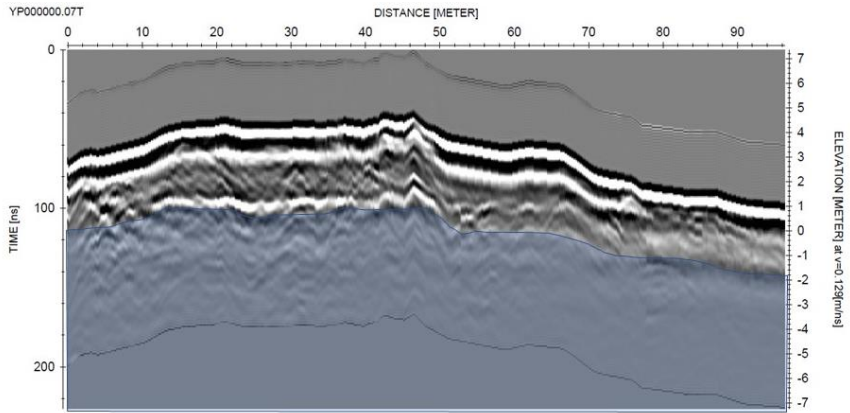
Mätningarna som gjordes med markradar, anpassade till de olika profilernas topografi, visas nedan i figur 32 a) till e). Den uppskattade nivån av grundvattnet är inritat i blått i figurerna. Profil I och IV är från de helt obevuxna områdena, profilerna II och III är från området med bevuxen frontdyn med obevuxet område bakom och profil V är från en bevuxen dyn, se figur 31.

Profiler för markradar

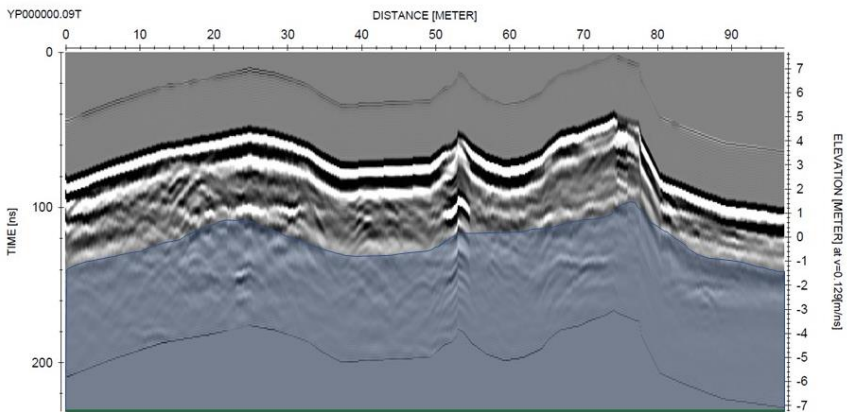


Figur 31. Profiler över mätningarna med markradar. Ortofotot är från december 2015.

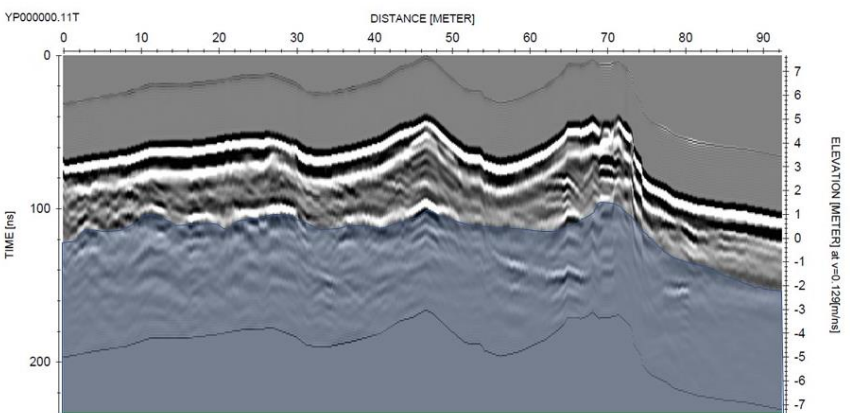
Profil I

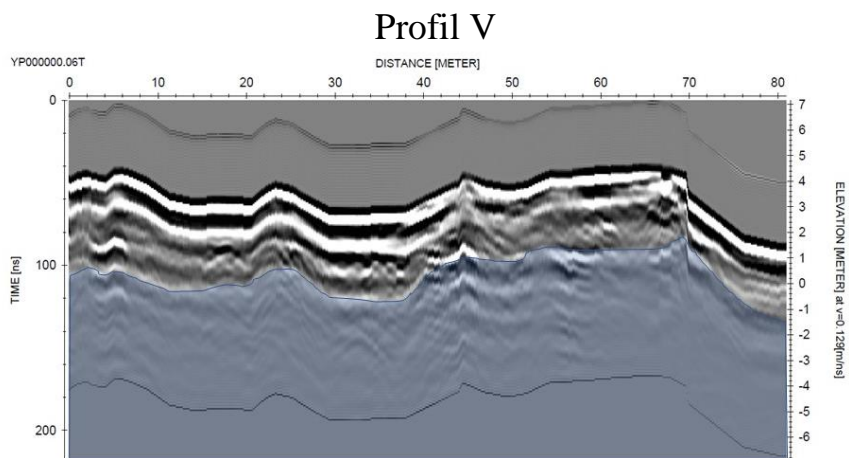
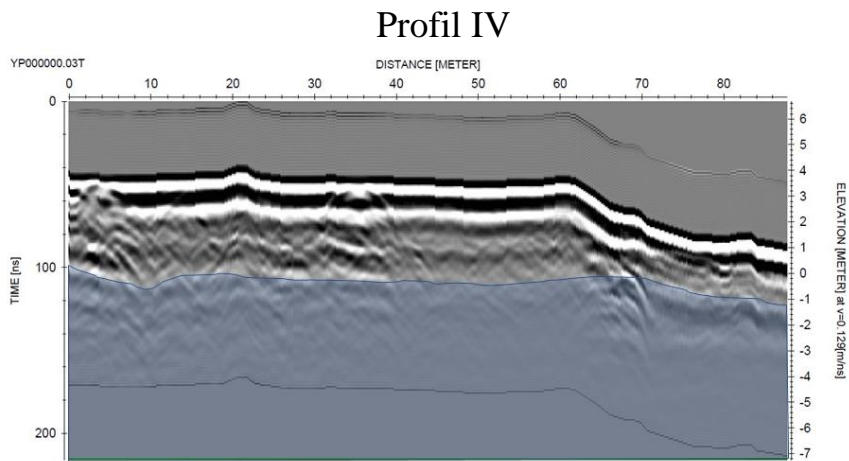


Profil II



Profil III



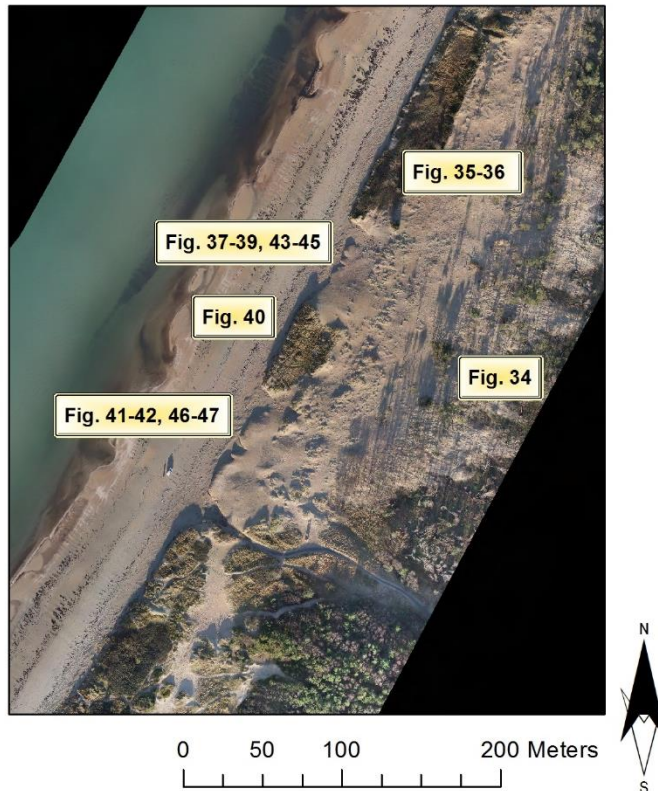


Figur 32. a) - e) Resultatprofiler från mätningar med markradar, frekvens 100 MHz. Den blå linjen är en uppskattning av var grundvattennivån ligger i de olika dynerna.

4.7 Fotografier från fält 2016 och 2017

Områden där fotografier togs visas i figur 33. Därefter följer fotografierna från fält i september och oktober 2016 respektive januari 2017 efter stormen Urd.

Fotograferade områden



Figur 33. Områden som fotograferades under fältbesöken i september och oktober 2016.

4.7.1 Fotografier från fält 21:a september och 27:e oktober 2016



**Figur 34. Sand har blåst in i skogen bakom dynerna.
Foto: Janna Lindell, september 2016**



**Figur 35. Buskar med vresrosor på norra delen av studieområdet.
Foto: Janna Lindell, oktober 2016**



**Figur 36. Bakom vresrosbuskaget på norra delen av studieområdet.
Foto: Janna Lindell, september 2016.**



**Figur 37. Den norra obevuxna dynen sedd söderifrån.
Foto: Janna Lindell, oktober 2016**



**Figur 38. Den norra obevuxna dynen sedd från skogen mot sydväst.
Foto: Janna Lindell, september 2016**



**Figur 39. Det obevuxna området längre bakom den norra obevuxna dynen.
Foto: Martin Bernhardsson, september 2016. Fotot används med tillstånd av fotografen.**



**Figur 40. Bevuxna mitt-dynen i studieområdet sedd norrifrån.
Foto: Janna Lindell, oktober 2016**



**Figur 41. Den obevuxna dynen i södra delen av studieområdet sedd norrifrån.
Foto: Janna Lindell, september 2016**



**Figur 42. Den södra obevuxna dynen sedd söderifrån.
Foto: Janna Lindell, oktober 2016**

4.7.2 Fotografier från fält 5:e januari 2017



**Figur 43. Foto över norra obevuxna dynen sedd från söder. Tidigare observerad vegetation i frontdynen har sköljts bort av stormen Urd.
Foto: Janna Lindell**



**Figur 44. Den norra obevuxna dynen sedd norrifrån. I bilden syns hur vågor sköljt upp och lämnat tång och skräp vid dynfronten.
Foto: Janna Lindell**



**Figur 45. Foto över den norra obevuxna dynen sedd söderifrån. Skillnaden i läge av framkant och höjd mellan de bevuxna och obevuxna dynerna syns här tydligt.
Foto: Janna Lindell**



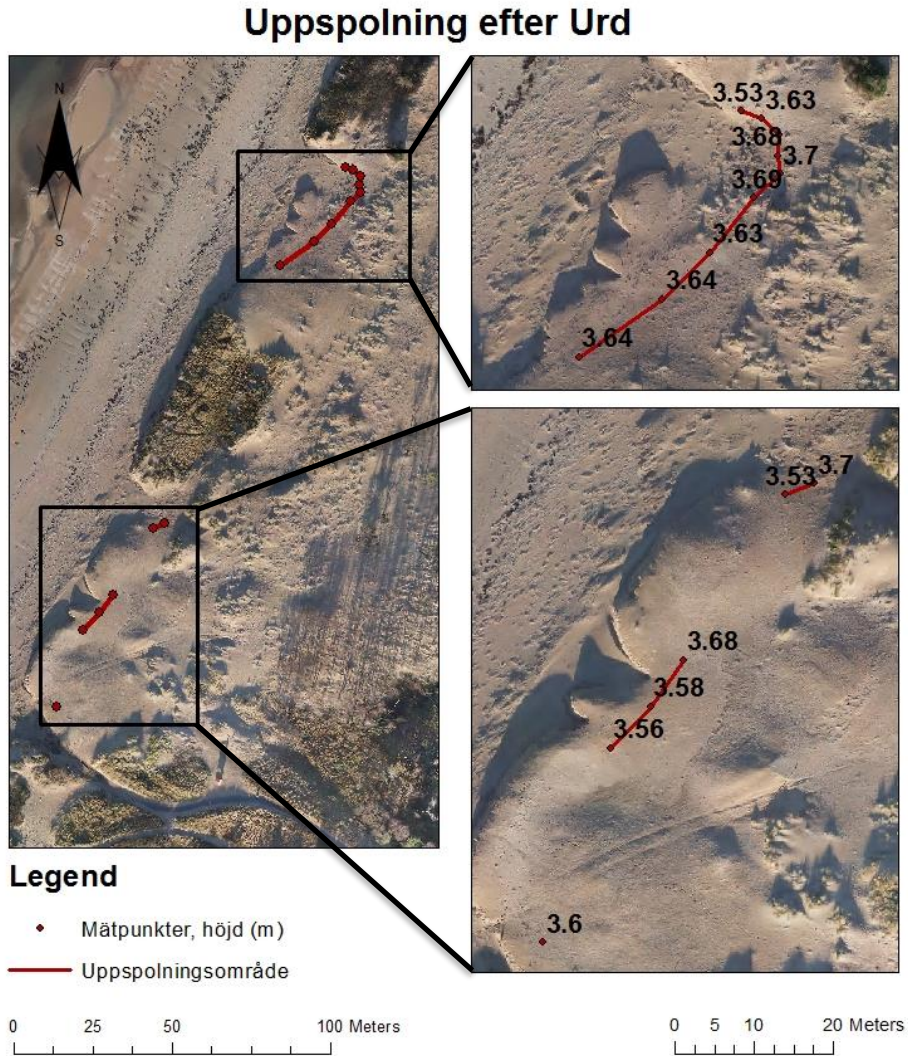
**Figur 46. Södra obevuxna dynen sedd norrifrån.
Foto: Janna Lindell**



**Figur 47. Uppspolning och genombrott i den södra obevuxna dynen.
Foto: Janna Lindell**

4.8 Kartläggning av uppspolning efter Urd

Uppspolningen som skett under stormen Urd i studieområdet varierar mellan 3,5 och 3,7 m. Resultatet visas i figur 48.



Figur 48. Karta över uppmätta områden med överspolning inom studieområdet. Ortofotot är från december 2015.

5. Diskussion

I det här kapitlet diskuteras samtliga resultat. Osäkerhetskällor diskuteras inom varje avsnitt var för sig.

5.1 Marktäckning och sandspridning

I de digitaliserade kartorna, se figur 19, går det tydligt att se hur sandens utsträckning har förändrats. Mängden bar sand i området har ökat, inte bara mellan april 2010 och november 2014 utan även från november 2014 till december 2015 då ingen vegetationsborttagning utfördes. Mellan november 2014 och december 2015 har andelen av marktäckningen minskat med cirka 12 % och andelen sand ökat med ungefär 16 %, se tabell 2. Arean för den låga vegetationen har också ökat från 2010 till 2014, detta beror antagligen på skogsfällning utförd av Sand Life och därefter trädfällning under stormarna som lämnat lågt bevuxen mark öppet. Men arean för låg vegetation minskar sedan igen mellan 2014 och december 2015. Detta beror på att sanden spritt sig in i skogen och täckt över den låga vegetationen där. Det finns även vissa felkällor i andelen mark som är klassificerad som låg vegetation eller skog eftersom dessa två var svåra att göra skillnad mellan då fallna träd och friska träd, speciellt lövträd, var svåra att urskilja i ortofotografierna (speciellt 2014 och 2015). Långa skuggor i ortofotot från december 2015 försvårade klassificeringen ytterligare. Att de olika ortofotografierna är tagna under olika tider på året och på olika tider på dygnet gör det svårare att jämföra dem samt att klassificera dem rättvist då olika växttyper syns olika bra och befinner sig i olika stadier. Samma klassificeringsproblem gäller även för vresrosor, eftersom en del av dessa buskar var svåra att urskilja eller inte visade tydliga kanter då ljuset och växtstadier varierade. Enligt tabell 3 ska arean av vresrosor ha minskat mellan november 2014 och december 2015 vilket nog är mindre troligt med tanke på dess växtkraft samt utbredning. Möjligtvis har en del mindre vresrosbuskar inte kunnat identifieras i ortofotot för 2015 samt att en del kan ha gått förlorade eller minskat i storlek på grund av erosion på frontdynen. Skillnaden mellan bar sand och vegetation har varit enklare att urskilja, vilket även varit studiens huvudsakliga syfte. I tabell 3 syns det även att arean för asfalt var större i november 2014 än de andra åren. Detta kan bero på att olika stora delar av stigen varit täckta med sand under respektive datum samt på avrundningen till hundratal i resultatet. För att åstadkomma en bättre klassificering av växter hade ortofoton med en högre upplösning behövts. Det hade även varit bättre om alla ortofoton var tagna under liknande förhållanden eller tid på dygnet vilket såklart är svårt att anpassa.

När det gäller studierna av sandspridning, figur 20 och tabell 4, visar kartan vad som hänt från november 2014 till december 2015. Sanden har brett ut sig över en area på ca 14 200 m². Den har antagligen spridit sig med vinden, vilket de tydliga stråken av sand in mot skogen talar för. Stranden har ju dessutom sand med kornstorlek på cirka 0,15-0,20 mm och historiska problem med just sandflykt har funnits, se kapitel 1.6.4. Att sanden blåser iväg på samma sätt idag som den gjorde under 1700-talet är självklart eftersom fysikens lagar är desamma då som nu. Vad som hände mellan att Sand Life tog bort vegetationen i januari-mars 2014 fram till november 2014 vet vi ej. Det hade varit intressant om det hade funnits flygbilder från precis efter borttagningen av vegetationen för att kunna göra en djupare analys i hur mycket sanden faktiskt rört sig sedan ingreppet. Något som är viktigt att ha i åtanke är att den sanden som lämnar stranden och sprids in i skogen också försvinner ifrån strandens sedimentcykel. Med det menas att sanden inte längre ingår i kretsloppet som återuppbygger stranden efter att den haft vinter och stormprofil. Detta kan få konsekvenser för stranden när det gäller återhämtning efter erosion.

Även när de digitaliserade kartorna är generaliserade med få klasser kan de ge en bild av förändringar i området. Att skillnaden av arean med sand mellan de digitaliserade kartorna för november 2014 och december 2015 (ca 10 300 m²) inte stämmer helt överens med den uträknade arean för sandspridning mot skogen (ca 14 200 m²) kan huvudsakligen bero på två saker. Det första är att de digitaliserade kartorna omfattar ett större område där det även skett förändringar i sand och vegetation på andra delar. En ökning av vegetationens utbredning betyder i det här fallet ofta en minskning i sandarea. Det andra är att i de digitaliserade modellerna är ytan där träd och buskar står utspritt i sanden in mot skogen bortdragen från sandens area, vilket den inte är i kartan för sandspridning. Där är arean istället räknad över hela det området där sand har spridit sig och de enstaka träd som står mitt i är inräknade som att sand var under dem med. Detta ger två olika resultat, sandspridningen visar över hur stor area sanden rört sig, medans den digitaliserade kartan visar hur stor area sanden har som vi ser ovanifrån.

5.2 Höjdmodeller i ArcScene

Höjdmodellerna i 3D ger en tydlig överblick av hur topografin i området har förändrats från det att dynen var orörd tills vegetationen togs bort och sedan utvecklingen därefter, se figur 21. Den största skillnaden syns på frontdynen.

Under 2010 är frontdynen en lång sammanhängande dyn med relativt jämn bredd och höjd. Efter vegetationsborttagningen i november 2014 är frontdynen istället uppdelad och har två partier som är tydligt lägre och flackare än den ursprungliga dynen. Även området bakom frontdynen har blivit planare. Detta beror på att sanden modellerades om då vegetation och rötter togs bort och silades bort av projekt Sand Life. I framkanten av de obevuxna dynerna har det bildats genombrott vilka växer under både januari och december 2015. Andra bidragande faktorer till utplanandet av dynen kan vara erosion av vågor och vind eller erosion utförd av strandens besökare. Bar sand är mer inbjudande för strandbesökare att gå på samt lättare att flytta på då det inte längre finns någon vegetation som binder den. Eftersom datan till höjdmodellen samlades in ett halvår efter vegetationsborttagningen vet vi inte vilken form dynerna hade precis efteråt.

Höjdmodellerna för januari och december 2015 är liknande den från 2014 förutom att de planare, obevuxna delarna av frontdynen tycks retirera mer för varje storm. Framkanten av frontdynen tycks också ha fått en brantare form vilket kan vara ett resultat av vågerosion på dynen, se kapitel 2.4.1. Detta stämmer överens med de fotografier från Lena Nilsson som visats på området efter stormen Gorm, se figur 6. Diskussion av höjdmodellernas felkällor finns i slutet av kapitel 5.3.

5.3 Höjdmodeller och volymförändringar

I skillnaden i höjdmodellerna före och efter stormen Egon (november 2014 och januari 2015) går det att skymta att sandförluster främst skett längs med frontdynen där vegetationen är borttagen (se röda smala området i frontdynen, figur 22). Mycket av skillnaden i markhöjd i den obevuxna delen av dynerna ligger inom buffert-värden (0,2 till -0,2) för felkällor varav det inte går att säga så mycket om vad som faktiskt skett här. Skillnaden mellan höjdmodellerna före och efter stormen Gorm visar dock tydligare resultat, det vill säga mellan januari och december 2015. Sandförluster har skett främst längs med frontdynen, med tydlig ökning vid de obevuxna frontdynerna där skillnaden i markhöjd uppgår till över 1 m i ett bredare band än vid de bevuxna frontdynerna. Den här erosionen är främst orsakad av vågor. Markhöjden har även tydligt minskat inom nästan hela det obevuxna området bakom frontdynen med omkring 0,1 till 0,5 m. De gröna områdena längst in bakom det obevuxna området visar på en sandökning, detta skulle kunna vara en ansamling av sand som blåst in mot skogen från dynerna. Att sand blåst in mot

skogen mellan november 2014 och december 2015 har även visats i resultaten för sandspridning se figur 20.

Skillnaden mellan höjdmodellerna från november 2014 och december 2015, det vill säga en överblick av vad som hände under drygt ett år inkluderande både Egon och Gorm, följer resultaten från mätningarna kring stormen Gorm. Den totala erosionen av frontdynen, främst orsakad av vågor, är betydligt större för de obevuxna frontdynerna samt att sandhöjden har minskat mer i det obevuxna området bakom dynen än i de bevuxna områdena, se figur 22. Viss erosion är antagligen på grund av strandens besökare som diskuterats innan. Men eftersom frontdynen efter stormen Gorm tydligt visar tvära erosionsbranter i fotot i figur 6 lär erosionen från strandens brukare inte vara av större betydelse i den här studien. Förändringen av sandvolym i hela det vegetationsreducerade området inom respektive tidsperiod visar också att sandförlusten varit störst under stormen Gorm jämfört med under stormen Egon.

I studierna och modelleringen av vågornas erosion på frontdynen valdes områden som kunde representera både den bevuxna och den obevuxna frontdynen, se figur 23. I tabell 6 och figur 23 visas det att de obevuxna dynerna i båda fallen har ungefär två till fyra gånger så högt värde på volymförändringen per meter än de bevuxna dynerna. Detta tyder på att de obevuxna dynerna lättare eroderar av påverkan från vågor, jämfört med de bevuxna. Det kan bero på att de är just obevuxna och att det inte finns någon växtlighet som hjälper till att fånga in eller binda sanden. Att artificiella dyner kan skilja sig från, och vara mer känsliga, än naturliga dyner när det gäller erosion har beskrivits i kapitel 2.4.3. Dessa skillnader i de obevuxna och artificiella dynerna gör att vind och vågerosion får annat fäste och verkan på dynen.

De extraherade strandprofilerna från höjdmodellerna gör det enklare att följa dynens topografiska utveckling, se figur 24 och 25. I alla profiler syns det att frontdynen backat i framkanten, antagligen är det på grund av havet och vågornas erosion. Alla profiler backade mellan 2010 (då alla frontdyner var bevuxna) och november 2014, antagligen på grund av att Skälderviken utsattes för starka stormar som Första adventsstormen 2011 och Sven 2013 tiden där emellan. Men därefter, mellan november 2014 och januari samt december 2015 backar inte längre de frontdyner som är bevuxna, se profil A, B, D i figur

25. De obevuxna frontdynerna däremot, se profil C och E i figur 25, har backat betydligt mer samt mellan varje mät-tillfälle. Sanden bakom frontdynen syns även här att den blivit mer utplanad. Att de obevuxna frontdynerna dragit sig tillbaka mycket mer än de bevuxna frontdynerna tyder på att de lättare eroderar som visat tidigare i de andra resultaten och som beskrivits i kapitel 2.5. Frontdynen är dessutom den del av dynen som är mest påfrestad av krafterna från vind och vågor, varav skillnaden i erosion syns tydligast här.

I studien av dynernas utveckling i markhöjd och sandvolym från april 2010 fram till december 2015, se figur 26, visas det att de obevuxna dynerna minskat i volym upp till dubbelt så mycket som den bevuxna, orörda dynen (se tabell 7). Detta tyder ytterligare på att de obevuxna dynerna är känsligare för erosion. Jämförelsen mellan de två höjdmmodellerna har dock felkällan att deras data är insamlade med olika tekniker och på olika sätt, vilket kan medföra att de är svåra att jämföra korrekt. Resultatet visar också på volymförändringar som är oväntade eller mindre troliga för området varav det är misstänkt att jämförelsen höjdmmodellerna emellan inte helt stämmer (till exempel den gröna volymökningen i bakre delen av område 1). Trots den här felkällan visar resultatet på en tydligt ökad erosion av frontdynen för de obevuxna dynerna, vilket även visats i tidigare resultat. Inom perioden för den här analysen skedde även Adventsstormen 2011 och stormen Sven 2013, vilka har eroderat på både de bevuxna och de obevuxna dynerna.

I uppskattningen av mätfel visas det att de största avvikelserna finns uppe i den bevuxna dynen (kring 0,2-0,5 m), se figur 27. Antagligen har klassificeringen av höjddatan för mark här varit svårare att korrigera då både växtligheten och marken därunder varierar i höjd längs med dynen. Mätfelen i vegetationen förklarar varför vissa oväntade förändringar i höjning och sänkning av markhöjd syns i de bevuxna dynerna i jämförelsen mellan höjdmmodellerna, se figur 22. I den obevuxna dynen däremot, området för studiens främsta analyser, är dock de uppskattade mätfelen mindre (en cm till strax under 0,2 m). I resultatet syns också att de uppskattade mätfelen under januari 2015 är något högre än under november 2014. Detta kan till exempel bero på slumpmässiga mätfel både med GPSen eller vid inmätning av höjdmmodellerna.

De felkällor som gäller för alla analyser i höjdmmodellerna är att de kan ha inkorrekta eller felaktigt klassade och korrigerade datapunkter inom sig som sedan använts i interpolationen till raster. För att minimera risken för sådana

fel avgränsades studieområdet för höjdmodellen till att innehålla så lite av skogspartiet (där risken för fel bedömdes vara störst) som möjligt och minimum och maximumvärdena i rastret kontrollerades så att de verkade rimliga för området. En annan felkälla är att det föll 1 cm nysnö strax innan mätningarna i januari 2014, men detta fel lär inte påverka resultatet särskilt mycket då en buffert-klass skapades för att fånga in sådana små avvikelser i jämförelsen mellan höjdmodellerna. Antalet mätpunkter per kvadratmeter är också fler (209, 41 och 53) för datan från november 2014 och januari samt december 2015 än för 2010 (ca 1 mätpunkt/m²). Detta gör att höjdmodellerna efter 2010 är mer detaljerade och tillförlitliga än den från 2010. Men då alla höjdmodellerna interpolerats till en upplösning på 1*1m bör inte denna skillnad i densitet av mätpunkter påverka resultatet avsevärt eftersom rastret ändå visar ett generaliserat värde. Något som hade förbättrat resultaten ytterligare vore om det hade funnits höjddata från precis före och precis efter vegetationsborttagningen.

5.4 Strandprofiler mätta i fält

Strandprofilerna som mättes i fält i april och oktober 2016 har liknande topografi som de profiler som extraherats ur höjdmodellerna, se profil C, D figur 25 och profil 2, 3 figur 28. De profiler som har orörd vegetation (profil A och profil 5) har en mer varierad topografi med två tydliga toppar eller fler. Profilerna däremot från de vegetationsreducerade dynerna är betydligt planare och slätstrukna och har mer formen av en låg kulle. De är också lägre i höjd än de bevuxna dynerna. Det syns ingen större skillnad på profilerna mätta i april och oktober, varav det går inte att säga om de har förändrats eller ej under den korta tiden. Men inga stormar har heller drabbat studieområdet under den perioden. Det är dessutom för stora osäkerhetskällor i mätningarna för att kunna analysera på cm-nivå, eftersom mätningarna utförts av olika personer och därefter även approximerats till en fix profil. Men det går ändå att säga att de uppmätta profilerna i fält bekräftar topografin som visats i höjdmodellerna.

Vid jämförelse av profilerna från oktober 2016 och januari 2017 (efter stormen Urd) går det att urskilja att dynerna har blivit påverkade av erosion. Strandplanet har slätats ut närmast vattnet av vågorna och frontdynerna har eroderats i framkanten. Resultaten från uträkningarna av volymförändringen under stormen Urd varierar för varje profil. Den största volymförändringen (-7,25 m³/m) skedde i den obevuxna dynen, profil 4. Den volymförändringen är mer än dubbelt så stor som den näst största förändringen, vilken skedde på en

bevuxen frontdyn, i profil 5 (-3,02 m³/m). Under fältbesöket observerades det att uppspolning skett i båda av de obevuxna dynerna och att detta skapat områden där vattnet brutit igenom dynen, se fotot i figur 47.

5.5 Modellerings av dynerosionen

Värdena på konstanten C_s från resultatet ligger inom samma intervall som värden från tidigare studier (Larson et al., 2004). I tabell 9 visas att konstanten har ett högre värde för de obevuxna dynerna än för de bevuxna dynerna under Egon och Gorm (2-4 gånger så stor under Egon, 3-10 gånger så stor under Gorm). Det tyder på att de obevuxna dynerna eroderar lättare samt att konstanten kan bero på vegetationen i dynen. Detta är rimligt eftersom C_s beskriver dynens beständighet mot vågerosion vilken påverkas av både sedimentets egenskaper samt vegetation. De kalibrerade värdena för stormen Urd är mer spridda, men dess största värde är från en obevuxen dyn (-25,05), vilket är mer än 2,5 gånger så stort som det näst högsta värdet (-10,45) vilket är från en bevuxen dyn. I figur 30 går det också att se att stormen Gorm i förhållande till vågor och vattenstånd har eroderat dynerna kraftigare än stormarna Egon och Urd då dess värden på konstanten är markant högre. I studien har C_s kalibrerats för 4 olika dyner och fem profiler efter tre olika stormar. För att få en bättre uppskattning av konstantens värde hade fler mätningar och kalibreringar behövts göras över området. Ett perfekt resultat skulle vara att få samma C_s för alla stormarna då detta skulle innebära att vi har en modell som beskriver processen väl. Det hade också varit intressant att undersöka hur mycket vegetationens täckning samt typ påverkar resultatet i studieområdet.

Uträkningarna gjorda med hjälp av modellen i Excel har dock felkällan att dess vind- och vågdata inte är från uppmätningar gjorda i Skälderviken utan ifrån Viken (vattenstånd) och Hallands Väderö (vind). Datan har också blivit korrigerad med uppstuvning för att passa studieområdet. Erosionsmätningarna efter stormen Gorm i höjdmodellerna sträcker sig dessutom över ett spann på nästan ett år vilket inte ger en ögonblicksbild av hur mycket just Gorm påverkade frontdynen. I fallet för Urd hade det varit intressant att kunna jämföra med en höjdmodell efter stormen för att få en bättre överblick av erosionsskadorna än vad profilerna visar. Men de här uträkningarna kan ändå ge en bild av skillnader mellan bevuxna och obevuxna dyner i studieområdet.

Under kalibreringen av konstanten C_s övervägdes även att först kalibrera friktions-koefficienten c_f med hjälp av den observerade uppspolningen från fält. Uppspolningen från fält skulle då jämföras med den friktionskorrigerade uppspolningen i formeln, och friktions-koefficienten kalibreras fram till att dessa stämde överens. En kalibrerad friktions-koefficient i det här fallet skulle också få ett lägre värde, kring 0,0048 (jämför med den använda konstanten på 0,02), vilket i sin tur skulle innebära ett lägre värde på konstanten C_s . Dock är inte den observerade uppspolningen och den friktionskorrigerade uppspolningen riktigt samma sak, eftersom den första fokuserar på hur högt upp som vågorna har nått och den senare på när vågorna når att erodera dynen. Därför valdes det att utföra kalibreringen på samma friktions-koefficient som från tidigare studier, det vill säga 0,02.

5.6 Mätningar med markradar över dynen

I resultaten från mätningarna med markradar framgår det att den frekvens som användes (100 MHz) inte var tillräckligt anpassad för studieområdet eftersom ungefär de två översta meterna i resultatet visar svartvita tjocka lager. Dessa lager tyder på att det är mycket luft i det översta skiktet vilket påverkar mätresultaten när frekvensen var för låg. För att förbättra framtida mätningar med georadar bör frekvensen höjas för att ge tydligare resultat och en högre upplösning. För framtida studier skulle en frekvens på 200-500 MHz rekommenderas. Som syns i figurerna är mätningarna även otydliga, pixliga och svårtolkade. Det är möjligt att mätningarna utfördes för snabbt eller att något annat fel hänt under insamlingen av data.

Något som går att tyda i figurerna är att de sedimentlager som tidigare byggt upp den obevuxna dynen då den fortfarande var bevuxen har tagits bort och dynen har slätats ut. Det går också att urskilja var grundvattennivån i de olika profilerna ligger, markerat med blått i figur 32 a) till e). I profilerna från de bevuxna dynerna varierar grundvattnets nivå mer än i de obevuxna dynerna, jämför profil II, III, V med profil I och IV i figur 32. Detta kan bero på att de orörda, bevuxna dynerna har olika sedimentlager med olika kornstorlek vilket resulterar i en varierande grundvattennivå då det finns lokala variationer i de hydrauliska egenskaperna hos dynen. Under grävningen och silningen av sanden i de numera obevuxna dynerna har sedimentlagren antagligen rörts samman och packats tätare. Det kan ha bidragit till en homogenisering av sanden i de obevuxna dynerna, vilket kan ha resulterat i ett sediment som har liknande hydrauliska egenskaper genom hela dynen. Grundvattnets nivå blir

därmed jämnare. Grundvattnets nivå kan alltså ha förändrats i och med borttagningen av vegetation på dynerna.

5.7 Analys av fotografier från fält 2016 och 2017

Som syns i figur 33 har sanden spritt sig och blåst in i skogspartiet bakom dynen som även visades i tidigare resultat, se figur 19 och 20. Norr om den norra obevuxna dynen finns fortfarande ett vresrosbuskage kvar, men där bakom är det plan bar sand och inte mycket vegetation, se figur 35 och 36. På den norra obevuxna dynen har växtligheten börjat komma tillbaka, speciellt bakom dynen där området är mer skyddat, se figur 38 och 39. Det har även börjat växa i framkanten av dynen, se figur 37. Det samma gäller för den södra obevuxna dynen se figur 41. Under stormen Urd sköljdes majoriteten av den här vegetationen bort, se figur 43 och 45. Den bevuxna mittdynen är täckt av dyngräs, se figur 40. Dock är stora områden av de båda obevuxna dynerna fortfarande utan växtlighet samt att de är markant lägre och planare i formen än de bevuxna dynerna, se figur 36, 37, 41, 42 och 44.

I den södra obevuxna dynen har uppspolning skett under stormen Urd vilket resulterat i ett genombrott/ökat genombrott i dynen, se figur 46 och 47.

5.8 Kartläggning av uppspolning efter Urd

I kartläggningen av uppspolningen som skett under Urd syns det hur högt och långt som vågorna nått på stranden under stormen, cirka 3.6 m, se figur 48. Detta är intressant att dokumentera för framtiden för att få en uppfattning om hur stranden kan påverkas i kommande stormar och för att se hur dessa uppspolningsområden utvecklas. Den uppspolning som observerats i studieområdet har endast skett i de obevuxna dynerna, vilket är logiskt när dessa är lägre i höjd än de bevuxna dynerna.

5.9 Erosion beroende på storm och dynform

Analyserna som har gjorts i det här arbetet är utförda under olika stormförhållanden och på ett dynamiskt dynsystem som har förändrats med tiden. Det betyder att utgångspunkten för erosion har varierat från fall till fall. Stormarna har haft varierande styrka och riktning och därmed haft olika påfrestningar på stranden och dynen. Dynen har på en del ställen ändrat topografi och utsträckning, särskilt inom den obevuxna dynen, se figur 45, vilket gör att dyner inom samma område kan ha drabbats olika vid samma stormtillfälle då vågorna nått olika högt på dem. Formen på dynen påverkar

också vilket sätt som erosionen kan angripa. Vågor som når kanten av höga dyner kolliderar med dess brant vilket kan skapa erosionshak, medan planare och lägre dyner lättare påverkas av uppspolning. I 3D modellerna över studieområdet och i fotografierna från efter stormen Urd syns det att de obevuxna dynerna även drabbats av genombrott i dynen, vilket inte drabbat de bevuxna dynerna.

6. Slutsats

I den här studien har det visats att borttagningen av vegetationen på södra delen av Ängelholms strandskog har haft en tydlig inverkan på dynernas morfologi. De frontdynen där vegetationen togs bort år 2014 har slätats ut mer, samt har eroderat två till fyra gånger så mycket av vågor som de be vuxna frontdynerna under stormarna Egon och Gorm (2015). Sand från det vegetationsreducerade området bakom frontdynen har också blåst in i skogen och lämnat strandens sedimentcykel för återuppbyggnad. Viss återhämtning av vegetation har skett till hösten 2016 men delvis sköljts bort av stormen Urd vid årsslutet.

För att minska felkällorna i den här studien hade det varit bra att ha tätare insamlade data både spatialt och i tid för höjdm modeller, samt ortofoton med bättre upplösning för att kunna utföra mer detaljerade analyser.

Avslutningsvis är det viktigt att tänka på att sanddynen har ett stort värde för samhället inom olika användningsområden, till exempel som rekreation, naturområde eller som ekosystemförsvar mot naturkatastrofer. Alla dessa värden är viktiga att värna om. Olika åtgärder på stränderna får också olika följder, vilka även varierar beroende på område och dess förhållande då sanddynen är dynamiska och rörliga system. Med det menas att det inte finns en lösning som är "rätt" eller fungerar lika bra eller dåligt för alla stränder. Därför är det viktigt att fundera på vilken som är sanddynernas centralaste funktion inom varje område innan beslut om åtgärder vidtas.

6.1 Framtida studier

För framtida studier vore det intressant att utreda mer kring, om och hur olika artificiella dynen skiljer sig i beteende vid erosion och utformning över längre tidsperioder. Det vore även intressant att titta på hur porositeten i de artificiella dynerna påverkar dess utveckling på stranden. Eftersom denna studie enbart fokuserat på huruvida dynerna varit be vuxna eller ej vore det av intresse att utföra fler studier på hur olika växtarter påverkar hur dynen eroderar. Slutligen så vore det intressant att modellera hur vindtransporten och sandflykten i området nu sker.

7. Referenser

- Arnström, T. & Länsstyrelsen Kristianstads län 1985. Strandskogen vid Ängelholm mellan Råbocka och Vegeholm: En naturinventering.
- Bagnold, R. A. 1937. The transportation of sand by wind. *The Geographical Journal*, 89, 409-438.
- Carlsson, G. & SMHI 2013. Detaljerad översvämningskartering längs Rönne å. In: Djerv, H. (ed.).
- Durán, O. & Moore, L. J. 2013. Vegetation controls on the maximum size of coastal dunes. *Proceedings of the National Academy of Science (PNAS)*, 110, 17217-17222.
- Edvinson, R., 2013: Prisomräknare från medeltiden till 2100, beräknat från daler i silvermynt år 1749 till dagen värde.
<http://www.historia.se/Jamforelsepris.htm>, [2016-01-15].
- Erikson, L. H., Larson, M. & Hanson, H. 2007. Laboratory investigation of beach scarp and dune recession due to notching and subsequent failure. *Marine Geology*, 245, 1-19.
- Esri, 2016a: What is a LAS dataset?
<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-a-las-dataset-.htm>, [2016-11-15].
- Esri, 2016b: What is lidar data?
<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>, [2016-11-15].
- Fredriksson, C. 2016. *RE: Samtal om dynerosion*.
- Fredriksson, C., Almström, B. & Sweco 2011. Stranderosion i Ängelholms kommun - Inventering av nuvarande förhållande och rekommendationer för framtiden.
- Hanson, H. & Larson, M. 2008. Implications of extreme waves and water levels in the southern Baltic sea. *Journal of Hydraulic Research*, 46, 292-302.
- Harrie, L. 2013. *Geografisk informationsbehandling; Teori, metoder och tillämpningar*, Studentlitteratur AB, Lund.
- Herrmann, H. J. 2004. Wind-Blown Sand. *The Physics of Granular Media*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Hesp, P. 2002. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48, 245-268.
- Hesp, P. A. & Walker, I. J. 2013. Coastal dunes. *Treatise on geomorphology*, 11, 328-355.

- Johansson, A., Zupanovic, P. & Runol, M., 2015: Stormen Gorm nådde orkanstyrka. <http://www.sydsvenskan.se/2015-11-29/stormen-gorm-nadde-orkanstyrka>, [2016-11-24].
- Johnmark, J. & Länsstyrelsen i Skåne län 2010. Skötselplan för naturreservatet Ängelholms strandskog.
- Kocken, P., 2016: Så mycket sand har försvunnit. <http://www.hd.se/2016-02-14/sa-mycket-sand-har-forsvunnit>, [2016-11-24].
- Kok, J. F., Parteli, E. J. R., Michaels, T. I. & Karam, D. B. 2012. The physics of windblown sand and dust. *Reports on progress in physics*, 75.
- Komar, P. D. 1976. *Beach processes and sedimentation*, Prentice Hall, Inc. Englewoods Cliffs, New Jersey, USA.
- Lantmäteriet 2014. Produktbeskrivning: Laserdata (Nationella höjdmodellen).
- Larson, M., Erikson, L. & Hanson, H. 2004. An analytical model to predict dune erosion due to wave impact. *Coastal Engineering*, 51, 675-696.
- Larson, M., Palalane, J., Fredriksson, C. & Hanson, H. 2016. Simulating cross-shore material exchange at decadal scale. Theory and model component validation. *Coastal Engineering*, 116, 57-66.
- Lidbeck, E. G. 1759. Anmärkningar vid Skånska flyg-sands-trakterne, och deras hjälpsande genom plantering. Kungliga vetenskaps akademien.
- Linné, C. v. 1975. *Linné i Skåne: Carl Linnaeus dagboksmanuskript från Skåneresan 1749, utdrag ur den publicerade reseberättelsen 1751 - huvudsakligen där dagboksark är försvunna - samt ur andra tryckta arbeten: en antologi. Red. Bertil Gullander.*, Stockholm, P. A Norstedt & Söners förlag.
- Luna, M. C. M. d. M., Parteli, E. J. R., Durán, O. & Herrmann, H. J. 2011. Model for the genesis of coastal dune fields with vegetation. *Geomorphology*, 129.
- Länsstyrelsen Kalmar län, u.å-a: 70 miljoner kronor för att restaurera sandmarker. <http://www.lansstyrelsen.se/Kalmar/sv/djur-och-natur/vaxter-och-djur/projekt/life-sandmarker/Pages/default.aspx>, [2016-09-13].
- Länsstyrelsen Kalmar län, u.å-b: Sand Life. <http://www.lansstyrelsen.se/Kalmar/sv/djur-och-natur/skyddad-natur/projekt/sandlife/Sidor/default.aspx>, [2016-11-24].
- Länsstyrelsen Skåne, u.å: Ängelholms strandskog. http://www.lansstyrelsen.se/skane/Sv/djur-och-natur/skyddad-natur/skydd-skansk-natur/naturreservat/angelholm/angelholms_strandskog/Pages/default.aspx, [2016-09-07].
- Martinez, L. & Metria AB 2015a. Redogörelse för UAS flygning över Ängelholms strand, Ängelholms kommun.

- Martinez, L. & Metria AB 2015b. Redogörelse för UAS flygning över Ängelholms strand, Ängelholms kommun.
- Martinez, L. & Metria AB 2016. Skälderviken, Ängelholms kommun, Metrias UAS flygning över Skälderviken strand efter stormen Gorm.
- Morton, A. R. 2002. Factors controlling storm impacts on coastal barriers and beaches: A preliminary Basis for near real-time forecasting. *Journal of Coastal Research*, 18, 486-501.
- Morton, A. R., Paine, G. J. & Gibeaut, C. J. 1994. Stages and durations of post-storm beach recovery, Southeastern Texas coast, U.S.A. *Journal of Coastal Research*, 10, 884-908.
- Niklasson, A., 2015: Höga vattennivåer efter Egon. <http://www.hd.se/2015-01-10/hoga-vattennivaer-efter-egon>, [2016-11-24].
- Norrman, J. O. 1967. *Strandens och kustens morfologi och de formskapande processerna*, Ymer, Årsbok 1967, Uppsala Universitets Geografiska institution.
- Palalane, J., Fredriksson, C., Marinho, B., Larson, M., Hanson, H. & Coelho, C. 2016. Simulating cross-shore material exchange at decadal scale. *Coastal Engineering*, 116, 26-41.
- Psuty, N. P. 1988. Sediment budget and dune/beach interaction. *Journal of Coastal Research*, 1-4.
- Rosell, A. 2016. RE: *Mejlkommunikation om datum för åtgärder i Ängelholms strandskog*.
- Sand Life 2014. Sand Life: Restaureringsplan för Natura 2000-området Ängelholms strandskog, SE0420233 i Ängelholms kommun.
- Silva, R., Martínez, M. L., Odériz, I., Mendoza, E. & Feagin, R. A. 2016. Response of vegetated dune-beach systems to storm conditions. *Coastal Engineering*, 109, 53-62.
- SMHI 2014. Första adventsstormen 2011.
- SMHI, 2015a: Freja, Gorm och Helga nov-dec 2015. <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/freja-gorm-och-helga-nov-dec-2015-1.104502>, [2016-10-24].
- SMHI 2015b. Simone, Hilde, Sven och Ivar okt-dec 2013.
- SMHI, 2016a: Egon och Ole januari-februari 2015. <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/egon-och-ole-januari-februari-2015-1.104484>, [2016-10-24].
- SMHI, 2016b: Sammanfattning av stormen Urd. <http://www.smhi.se/nyhetsarkiv/sammanfattning-av-stormen-urd-1.113390>, [2017-01-06].

- SMHI, 2016c: SMHI Öppna data. <http://opendata-catalog.smhi.se/explore/>, [2016-12-03].
- SMHI & Naturvårdsverket, 2014: Fakta om klimatförändring: Framtidens havsnivåer. <https://www.naturvardsverket.se/upload/sa-mar-miljon/klimat-och-luft/klimat/faktablad-framtidens-havsnivaer.pdf>, [2017-01-05].
- Taylor, E. B., Gibeaut, C. J., Yoskowitz, D. W. & Starek, M. J. 2015. Assessment and monetary valuation of the storm protection function of beaches and foredunes on the Texas coast. *Journal of Coastal Research*, 31, 1205-1216.
- TT-HD-Sydsvenskan, 2015: Egon orsakade miljonskador. <http://www.sydsvenskan.se/2015-01-12/egon-orsakade-miljonskador>, [2016-11-24].
- Ungar, J. E. & Haff, P. K. 1987. Steady state saltation in air. *Sedimentology*, 34, 289-299.
- USACE 1984. *Shore Protection Manual*, Vicksburg, Coastal Engineering Research Centre, U.S Army Corps of Engineers.
- Van Dijk, P. M., Arens, S. M. & Van Boxel, J. H. 1999. Aeolian processes across transverse dunes. II: Modelling the sediment transport and profile development. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, 319-333.
- Venhagen, L., 2015: Skador efter stormen Gorm inspekteras. <http://angelholm.lokaltidningen.se/skador-efter-stormen-gorm-inspekteras-/20151130/artikler/151139973/1446>, [2016-11-24].
- Ängelholms kommun, 2015a: Stormen Gorm. <http://www.angelholm.se/gorm>, [2016-11-24].
- Ängelholms kommun, 2015b: Återställning av klitterna. <http://www.angelholm.se/Kommun-politik/Projekt/Avslutade/Bygga-bo-och-miljo/Aterstallning-av-klitterna/>, [2016-09-07].
- Ängelholms Näringsliv AB, u.å.: Ängelholm- Land & Hav. Liv & Lust. <http://angelholm.com/angelholm-land-och-hav-liv-och-lust/>, [2016-09-12].
- Öckerman, H., 2016: Så påverkas Sverige av stigande hav. <http://dagvattenguiden.se/2016/05/02/sa-paverkas-sverige-av-stigande-hav/>, [2017-01-05].

Appendix

I. Data använd i Analys och figurer

Tabell I. Tabell över vilken data som använts under studien samt till vilken del de användes. Tabellen är sorterad efter årtal, 2010 till december 2015 med figur 1 och excel-datan redovisad först respektive sist.

Använd	Fil	Typ	Beskrivning	Geometrisk upplösning	Källa
Figur 1	Län	Vektor	Vektorer som bygger upp Sveriges län	-	http://services.arcgis.com/hrh7HJqpzvUrwY6X/arcgis/rest/services/L%C3%A4n/FeatureServer/0
	sveriges_50_största_städer	Vektor	Koordinater för städer i Sverige	-	http://services.arcgis.com/hrh7HJqpzvUrwY6X/arcgis/rest/services/Sveriges_50_st%C3%B6rsta_st%C3%A4der/FeatureServer/0
	ortoRast3006_6231714_360619.tif	Raster, ortofoto	Ortofoto över Ängelholm, januari 2014	1*1 m	Från Ängelholms kommun
	Naturreservat_Sverige	Vektor	Vektordata över Sveriges Naturreservat	-	https://services1.arcgis.com/JxaLUOYnpek8RqTd/arcgis/rest/services/Naturreservat_Sverige/FeatureServer
apr-10	LAS_Skalderviken.las	LAS-data	Punktmoln för mätningar av Skaldervikens kust April 2010.	ca 1 mätpunkt/m ²	Lantmäteriets nationella höjdmodell via Jonas Henriksson på Ängelholms kommun.
	angelholm_hela.ecw	Raster, Ortofoto	Ortofoto för 2010 från Ängelholms kommun.	0,1*0,1 m	Från Ängelholms kommun
nov-14	angelholm.las	LAS-data	Punktmoln för mätningar av Ängelholms kust, data insamlad 26 november 2014	Ca 178 mätpunkter/m ² (209 mätpunkter/m ² i studieområde)	Från Metria AB, via Ängelholms kommun
	angelholm_5cm.ecw	Raster, Ortofoto	Ortofoto för 26 november 2014,	0,05*0,05 m	Från Metria AB, via Ängelholms kommun

			Ängelholms kust.		
	Inmätning_20141126	Vektor	Uppmätta punkter från stranden 24:e november 2014	-	Från Ängelholms kommun
jan-15	block1.las (jan-15)	LAS-data	Punktmoln för mätningar av Ängelholms kust, data insamlad 21 januari 2015	Ca 3 mätpunkter/m ² (41 mätpunkter/m ² i studieområde)	Från Metria AB, via Ängelholms kommun
	block2.las (jan-15)	LAS-data	Punktmoln för mätningar av Ängelholms kust, data insamlad 21 januari 2015	Ca 3 mätpunkter/m ² (41 mätpunkter/m ² i studieområde)	Från Metria AB, via Ängelholms kommun
	block3.las (jan-15)	LAS-data	Punktmoln för mätningar av Ängelholms kust, data insamlad 21 januari 2015	Ca 3 mätpunkter/m ² (41 mätpunkter/m ² i studieområde)	Från Metria AB, via Ängelholms kommun
	block4.las (jan-15)	LAS-data	Punktmoln för mätningar av Ängelholms kust, data insamlad 21 januari 2015	Ca 3 mätpunkter/m ² (41 mätpunkter/m ² i studieområde)	Från Metria AB, via Ängelholms kommun
	angelholm_epok1.ecw	Raster, Ortofoto	Ortofoto för 21 januari 2015, Ängelholms kust.	0,05*0,05 m	Från Metria AB, via Ängelholms kommun
	Strandmätning_Havsbaden150121	Vektor	Uppmätta punkter från stranden 21:a januari 2015	-	Från Ängelholms kommun
dec-15	block1.las (dec-15)	LAS-data	Punktmoln för mätningar av Ängelholms kust, data insamlad 15 december 2015.	Ca 46 mätpunkter/m ² (53 mätpunkter/m ² i studieområde)	Från Metria AB, via Ängelholms kommun
	block2.las (dec-15)	LAS-data	Punktmoln för mätningar av Ängelholms kust, data	Ca 46 mätpunkter/m ²	Från Metria AB, via Ängelholms kommun

			insamlad 15 december 2015.	(53 mätpunkter/m ² i studieområde)	
	block3.las (dec-15)	LAS-data	Punktmoln för mätningar av Ängelholms kust, data insamlad 15 december 2015.	Ca 46 mätpunkter/m ² (53 mätpunkter/m ² i studieområde)	Från Metria AB, via Ängelholms kommun
	block4.las (dec-15)	LAS-data	Punktmoln för mätningar av Ängelholms kust, data insamlad 15 december 2015.	Ca 46 mätpunkter/m ² (53 mätpunkter/m ² i studieområde)	Från Metria AB, via Ängelholms kommun
	ECW.ecw	Raster, Ortofoto	Ortofoto för 15 december 2015, Ängelholms kust.	0,05*0,05 m	Från Metria, via Ängelholms kommun
Excel	vattenstånd_vind_vågor	Excelark	Excelark med data över vattenstånd (från Viken korrigerat md uppstuvning för Skälderviken), vind (Hallands Väderö) och vågor vid stormarna Egon och Gorm	-	Från Caroline Fredriksson, Institutionen för Teknisk vattenresurslära, LTH (Ursprungligen från SMHI)
	Vattenstånd_urd	Excelark	Excelark med data över vattenstånd (från Viken korrigerat md uppstuvning för Skälderviken), vid stormen Urd	-	Från Caroline Fredriksson, Institutionen för Teknisk vattenresurslära, LTH (Ursprungligen från SMHI)
	Vind_vågor_dec2016	Excelark	Excelark med data över vind (Hallands Väderö) och	-	Från Caroline Fredriksson, Institutionen för Teknisk

			vågor vid stormen Urd		vattenresurslära, LTH (Ursprungligen från SMHI)
	sandlife_pro filer	Excelark	Excelark med strandprofiler upmätta i studieområdet i april 2016	-	Från Caroline Fredriksson, Institutionen för Teknisk vattenresurslära, LTH

II. Detaljerad metod för skapande av figur 1

För att skapa översiktskartan över Skåne laddades vektordatan "Sveriges_län" ner från portalen ArcGIS Online. Referenssystemet som användes är SWEREF 99 TM. Därefter användes "Select by attribute" där Skåne län valdes och exporterades som nytt vektorlager för att få Skåne som det enda länet som visades i kartan. Till kartan adderades sedan vektorlagret "Sveriges_50_största_städer", och Ängelholm valdes och exporterades som nytt vektorlager med hjälp av "Select by attribute". Till sist skapades ett nytt vektorlager, en polygon, som inramade området vid Ängelholms kust.

Därefter skapades kartan över Ängelholms stad. Som bakgrund användes ortofotot "ortoRast3006_6231714_360619.tif" från januari 2014 då det även innefattade bilder över Ängelholms stad samt visar studieområdet översiktligt. Vektorlagret "Naturreservat_Sverige" Användes för att med hjälp av "Select by attribute" funktionen skapa ett nytt lager där endast Ängelholms strandskog är med. Till slut skapades ett nytt polygonlager i form av en rektangel som ramar in studieområdet. Samma rektangel och ortofoto användes även i sista kartan, där studieområdet syns i närbild, för att skapa en kontinuitet i bilderna.

III. Detaljerade metoder för skapande av resultat i ArcMap 10.4.1

Studier av höjdmodeller i ArcScene

För att synliggöra topografin i höjdmodellen så aktiverades "Floating on a custom surface" under "base height tab" i lagrets egenskaper. "Vertical exaggeration" sattes därefter till 3,7 för att visualisera skillnaden i höjd.

Studier av höjdmodeller för att se volymförändringar

LAS-filerna (.las) för åren 2010 till dec 2015 som används i studien lades in som lager i ArcMap genom skapandet av LAS dataset i ArcCatalog. Därefter kunde punktmolnet visas i programmet och filtret "klass 2, Ground" valdes under lagrets egenskaper som det enda synbara då endast markvärdena är av intresse för studien av sandtransporten. Att ta med vegetation eller byggnader skulle ge stora felkällor i analysen. För att kunna jämföra de olika dyntopografierna för sanddynerna skapades digitala elevationsmodeller (DEM), raster som visar dynernas höjd. Dessa skapades med hjälp av funktionen "LAS Dataset to Raster". I funktionen valdes interpolationsmetoden "Inverse Distance Weighting" (IDW) och void filling ställdes till Linjär. Upplösningen valdes till 1 meter då detta ansågs ge en rimlig presentation av datan och dess täthet. Ett rektangulärt polygonlager (vektordata) skapades för att visa studieområdet, vegetationsröjda dyner samt orörda bevuxna kontroll-dyner. Detta lager användes som Mask i funktionen "Extract by Mask", för att klippa rastret till att endast täcka studieområdet på stranden. När rasterna/DEMen för de olika tidpunkterna var utklippta enligt studieområdet, jämfördes de genom användning av "Raster Calculator" där det yngre rastret minus det äldre intilliggande rastret i tiden räknades ut som ett nytt rasterlager för att visa på förändring i höjd under tidsperioden där emellan.

Uträkning i GIS av förlorad volym vid erosion

Höjdförändringen i skillnaden mellan höjdmodellerna (vilket är samma värde som volymen då varje pixel i rastret är 1*1 m) summerades separat inom varje rektangel (med funktionen Zonal Statistics Table) och dividerades sedan på rektangelns/dynens längd respektive area för att få volymförändring per strandmeter respektive kvadratmeter.

Studier av förändring i strandprofiler gjorda av höjdmodellerna

Strandprofilerna från höjdmodellerna ritades först ut som vektordata i linjeform för att samma profiler skulle tas ut från de fyra mättillfällena. Därefter användes "3D Analyst" och verktyget "Interpolate shape" för att skapa profilerna i enlighet med topografin. Resultatet visades och exporterades till excel via funktionen "Profile graph".

IV. Strandprofiler och markradar uppmätta i fält

Mätpunkterna för strandprofilerna importerades i ArcMap via funktionen "Display X and Y". Därefter skapades ett nytt punktlager (vektordata) via funktionen "Export data". Mätpunkterna delades sedan upp i de som tillhörde

tidigare tagna strandprofiler och de som var profiler för georadar-mätningarna (se nedan för fortsatt metod för georadardatan). Verktuget "Near" användes för att approximera de uppmätta punkterna till de strandprofiler som var mätta tidigare. Lagret med uppmätta punkter valdes att approximeras till de skapade strandprofilslinjerna med avseende på läge. Detta gör så att nya kolumner i Attributtabelen skapades (Near X, Near Y) som visar vilken punkt på strandprofilslinjen som ligger närmast den uppmätta punkten från fält. I nästa steg exporterades dessa två kolumner till Excel där avståndet i x- och y-led räknades ut med hjälp av Pythagoras sats. Därefter ritades grafer över strandprofilerna där den lodräta axeln visade skillnaden i Z-led, medan den horisontella axeln visade det uträknade avståndet. För att lättare kunna jämföra strandprofilerna refererades de till samma linje på strandplanet. Den längsta profilen, profil 5, användes som grund. De andra profilernas läge justerades för att de skulle stämma överens med profil 5 på den del av strandplanet närmast vattnet där höjden är 0,5 m.