

# Fysiska och dynamiska förhållanden längs Skånes kust – underlag för klimatanpassningsåtgärder

Johan Nyberg, Bradley Goodfellow & Jonas Ising

februari 2021

SGU-rapport 2021:02

Diarie-nr: 31-542/2020



Omslagsbild: Erosionsskydd i form av skoning, sydkusten Skåne  
Fotograf: Elisabeth Magnusson

Författare: Johan Nyberg, Bradley Goodfellow och Jonas Ising  
Granskad av: Anette Björilin och Sebastian Bokhari Irminger (SGI), Björn Almström,  
Magnus Larson och Almir Nunes de Brito Junior (Lunds universitet), Kristian Schoning,  
Pär Nordgren och Peter Slagbrand (SGU), Thorbjörn Nilsson (Länsstyrelsen Skåne), Erik Bern (MSB)  
Ansvarig enhetschef: Anna Hedenström

Redaktör: Johan Sporrang

Sveriges geologiska undersökning  
Box 670, 751 28 Uppsala  
tel: 018-17 90 00  
e-post: sgu@sgu.se  
[www.sgu.se](http://www.sgu.se)

## INNEHÅLL

Läsanvisning.....	5
Sammanfattning.....	6
Summary .....	7
Inledning.....	10
Metoder.....	10
Fysiska och dynamiska förhållanden.....	11
Strandmaterial, stranddynamik, bottenmaterial, sedimentdynamik, jordarter, berggrund och erosionsförhållanden.....	11
Våg-strömmodell.....	13
Förändringar av sand- och grusstränder .....	13
Sammanställning av befintliga åtgärder .....	16
Resultat.....	17
Allmänt.....	17
Sand- och grusstränder samt sedimentsystem .....	17
Förändringar av sand- och grusstränder .....	19
Klint-och klippkust .....	21
Kronisk erosion .....	21
Akut erosion.....	21
Laholmsbukten, inre och yttre (Båstads kommun).....	22
Skälderviken (Båstads, Ängelholms, Helsingborgs och Höganäs kommuner).....	25
Norra delen .....	25
Södra och inre delen .....	25
Norra Öresund (Höganäs och Helsingborgs kommuner).....	29
Mellersta Öresund (Landskronas, Kävlinges, Lommas och Burlövs kommuner) .....	32
Ven .....	32
Lundåkrabukten.....	33
Lommabukten.....	33
Södra Öresund (Malmös och Vellinges kommuner).....	37
Malmö .....	37
Falsterbo .....	37
Sydkusten (Vellinge, Trelleborgs, Skurups och Ystads kommuner) .....	40
Kämpinge–Trelleborg.....	40
Trelleborg–Smygehuk.....	40
Smygehuk–Ystad.....	42
Ystad–Kåseberga.....	45
Kåseberga–Sandhammaren.....	45
Södra östkusten (Simrishamns kommun) .....	47

Norra Östkusten (Kristianstads och Bromöllas kommun).....	49
Juleboda–Åhus.....	49
Åhus–Valjeviken.....	49
Fysiska och dynamiska förhållandens betydelse för val av åtgärder .....	51
Allmänt.....	51
Kust- och strandtyp samt material som kusten är uppbyggd av .....	51
Fördelning av material i mark- och bottenytan.....	51
Sedimentdynamik och morfologi.....	52
Exempel från befintliga åtgärder .....	52
Hårda skydd .....	53
Inverkan på sedimentdynamik och transport .....	53
Ordlista .....	55
Referenser.....	56
Bilaga 1. Methodology for Wave Climate and Longshore Transport Along Coasts of Skåne and Halland .....	58



## LÄSANVISNING

Denna rapport är avsedd för de som arbetar med klimatanpassning, kustzons- och fysisk planering samt som projekterar åtgärder mot erosion och översvämning i kustzonen. Den är även avsedd för de som är intresserade av ämnet. I avsnittet *Metoder* samt i bilaga 1 beskrivs underlagen och metoden som använts för att bedöma fysiska och dynamiska förhållanden i ett område. I avsnittet *Resultat* redovisas bedömda fysiska och dynamiska förhållanden kommunvis för Skånes kust. Rapporten är ett stöd till framtagna kunskapsunderlag vilket innebär att det vid läsning är lämpligt att använda SGUs kartvisare *Stranderosion och geologi, kust* med relevanta kartskikt. Den allmänna betydelsen av fysiska förhållanden, processer och sedimentdynamik vid val av åtgärder samt exempel med konsekvenser från befintliga åtgärder redovisas i avsnittet *Fysiska och dynamiska förhållandens betydelse för val av åtgärder*. En ordlista finns i slutet av rapporten.

## SAMMANFATTNING

Följande planerings- och kunskapsunderlag om fysiska förhållanden och dynamik har tagits fram och redovisas kommunvis för Skånes kust. Underlagen är avsedda att användas som utgångspunkt i klimatanpassningsarbete, för bedömning och prognos av erosion och översvämning samt möjliga skyddsåtgärder.

- Kust- och strandtyp samt material som kusten är uppbyggd av.
- Fördelning av material med tillhörande dynamik i mark- och bottenytan.
- Förekomst av rörlig sand och indelning av sedimentsystem.
- Erosionsförhållanden.
- Modellerad riktning och storlek av kustparallell sedimenttransport.
- Kustprocesser och sedimentdynamik bedömda genom en sammanvägning av underlagen ovan.

Vidare har en geodatabas skapats om befintliga erosions- och översvänningsåtgärder längs Skånes och Hallands kuster, inrapporterat av kommuner och myndigheter. Syftet är att ta del av befintliga åtgärders funktion och konsekvens och få kunskap om olika åtgärders lämplighet för de fysiska förhållanden, kustprocesser och sedimentdynamik som förekommer. Sådan kunskap kan förbättra beslut om val och design av lämplig åtgärd eller om åtgärd behövs.

Vid val av skyddsåtgärd är typ av kust samt erosionsprocess av betydelse. Det är, till exempel, viktigt att veta om det är en sandstrand med kronisk erosion eller en klint- eller klippkust med akut erosion som ska skyddas. Vidare är mäktigheten och utbredningen av material och dess dynamik, både på land och havsbotten, i ett område av betydelse. Exempelvis har förekomst och mängd rörlig sand, som interagerar mellan land och hav, relevans för en strands anpassning och respons till vågor, vattenstånd och vind samt återhämtning efter erosionsförlopp. Dessutom bör riktning och storlek av sandtransport beaktas samt om området är placerat i ett sedimentsystem så att mängden sand minskar eller ökar över tid. Åtgärder och skydd kan öka, reducera eller stoppa sedimenttransporten mellan olika kustavsnitt och bukter. En minskad sandtillförsel till ett område kan minska områdets förmåga att motstå erosion och översvämning.

Sand- och grusstränder förekommer oftast i bukter där större sandavlagringar, både på land och havsbotten, har ackumulerats över tid. Bukterna har varierande form och storlek på grund av att de har bildats och förekommer mellan områden som består av svåreroderad berg och jord. Svåreroderat material kan även förekomma på havsbotten i anslutning till uddarna och land vilket resulterar i en förhållandevis grundare botten med grövre material som tillsammans med uddarna försvårar eller förhindrar kustparallell transport av sediment på havsbotten mellan bukterna. Följden blir sedimentsystem som är mer eller mindre slutna och separerade från varandra. Under rådande förhållanden förändras inte sand- och grusområdets förekomst nämnvärt längs med kusten. Rörlig sand transporteras därför framför allt inom de områden och sedimentsystem där sand redan förekommer.

Skånekusten, med ön Ven, har översiktligt delats in i 56 sedimentsystem. De största sammanhängande dynamiska sandområdena, både på land och havsbotten, förekommer i Laholmsbukten, Skälderviken, Lommabukten, utanför Falsterbohalvön, Sandhammaren samt mellan Kivik och Åhus i Hanöbukten. Lommabukten och de inre delarna av Laholmsbukten och Skälderviken kan betraktas som mer eller mindre slutna sedimentsystem. I ett större perspektiv kan även området utanför Falsterbohalvön, Sandhammaren och Hanöbukten betraktas som slutna. Stora sammanhängande sandområden, som mer eller mindre är slutna förekommer också i Lundåkrabukten och Foteviken, vilka dock under rådande förhållanden är utsatta för en lägre exponering och låg sedimentdynamik. Längs resterande delar av Skånekusten är förekomsten av sandområden relativt låg, med undantag för en lite större förekomst längs kusten från strax norr

om Helsingborgs till Landskronas tätorter, de centrala delarna i bukterna vid Beddingestrand och Ystads Sandskog.

Den relativt mindre förekomsten och mängden sand, som kan interagera mellan land och hav, i den aktiva strandprofilen längs långa kuststräckor i Skåne bör beaktas vid planering av åtgärder. En mindre tillgång till dynamisk sand kan ha betydelse för strändernas anpassning och respons till en högre havsnivå och ett förändrat klimat. Om den naturliga sandtransporten och strändernas respons och förflyttning in mot land hindras eller påverkas genom olika åtgärder kan det orsaka en nettotransport av sand bort från istället för in mot land, vilket resulterar i erosion av stranden.

För bedömning av sand- och grussträndernas erosions- och ackumulationsförhållanden i Skåne, samt som ett underlag för bedömning av sedimentdynamik, utfördes en studie av hur läget av dynfoten, synlig i ortofoton, förändrats i avstånd mellan 2007 och 2018. Dynfoten definieras som gränsen där strandplanet separeras från dynerna in mot land. Av cirka 180 km stränder i Skåne har 55 % uppvisat en förändring av mindre än 2 m, vilket betraktas som osäker, emedan 26 % har uppvisat en nettoackumulation och 18 % en nettoerosion under perioden. Erosion har förekommit mer på de stränder som vetter mot väst. Exempelvis har 32 % av stränderna längs västkusten norr om Malmö eroderat samtidigt som enbart 8 % ackumulerat. Längs syd- och östkusten har däremot enbart 12 % eroderat medan 34 % ackumulerat. Detta kan bero på att sydvästliga–västliga vindar dominerar över andra riktningar och tillsammans med en orsakad större förekomst av vågor från väst genererar en förhållandevis större västlig exponering. Baserat på analysen av dynfotens läge mellan 2007 och 2018 är erosionen för sand- och grusstränder under denna period av mindre omfattning om man ser till hela Skåne.

En översiktlig analys av de inrapporterade befintliga åtgärderna visar att en del fungerar bra utan större konsekvenser, och att vissa åtgärder, speciellt hårda skydd, kan orsaka en större erosion och borttransport av sediment bredvid eller framför skydden. Dessutom reducerar eller hindrar några åtgärder sandtransport inom den aktiva strandprofilen och påverkar strändernas naturliga omfördelning av sand. Fortsatta utvärderingar av befintliga åtgärders funktioner bör utföras.

## SUMMARY

Mitigating and adapting to the effects of coastal erosion and flooding are key challenges to assisting natural ecosystem function and sustainable land-use in coastal zones. These zones must also be resilient to future increases in sea level and potential changes in storminess related to anthropogenic global heating. Accomplishing these goals, in part requires knowledge of geologic conditions such as topography, bathymetry, onshore and offshore sediment distributions, geologic processes that contribute to coastal erosion and flooding, the rates at which these processes operate, and predictions of how these processes might change in the future.

To assist in present-day coastal zone management and planning for expected future challenges, this report assembles geologic data for the Skåne coastline and from those data makes preliminary inferences regarding processes that drive erosion and their rates under present conditions. The report focusses on Skåne because it has a high human population and considerable infrastructure located adjacent to the coastline, within 10 m of sea level, and which are frequently hosted upon easily eroded Quaternary sediments.

The geologic data presented here include the sediments that mantle the seabed, the coastline, and the area that lies landward of the coastline. Using these sedimentary data, the topography of the coastline in plan view, the offshore bathymetry, and changes in the position of the coastline from 2007 to 2018 observed from aerial photographs, we make inferences on present-day patterns of erosion, transport, and deposition of coastal sediments. To derive a more quantitative under-

standing of the processes that control the observed patterns, the SWAN wave model, parameterized with wind data from 1979–2020, is used to predict potential longshore sediment transport for the Skåne coastline, and those predictions are compared with the observed distributions of coastal sediments. Finally, the report collates a database of existing coastal structures that have been built to mitigate erosion and flooding based on aerial photograph observations and records from municipalities and other coastal authorities. In addition to covering the Skåne coastline, this database also includes information from Halland.

This report shows that the Skåne coastline is comprised of embayments, with length scales of hundreds of meters to tens of kilometers. The west coast of the peninsula Skänör is an exception comprised of a 10 km-long sand spit. Sand to gravel-sized sediments accumulate in the embayments to form beaches. This spatial pattern in sediment distribution occurs because the sand-to-gravel fraction is more dynamic (i.e., more easily eroded, transported, and redeposited) than sediments that are either finer- or larger-grained than this range. The embayments are pinned by promontories that extend seawards in plan-view and which are comprised of bedrock or bouldery glacial sediments, which are resistant to erosion and which frequently also extend below sea level, where they are expressed as shallow areas of exposed bedrock or boulder lags, from which fine-grained sediments have been eroded. These promontories inhibit longshore transport of the sand-to-gravel sediment fraction, resulting in local sediment compartments that are frequently isolated from each other and may only exchange sediments with adjacent compartments during storm events. These ‘closed’ or occasionally ‘leaky’ compartments, and the resulting limited sediment supply, are an important consideration in coastal management, because they increase the sensitivity of embayment beaches to erosion if the sediment transport systems are perturbed, for example, by sea level rise, a large storm, or human constructions.

In this report, 56 sediment compartments have been identified along the Skåne coastline, including the island of Ven. The division is based on the distribution of sand into separate compartments, changes in the position of the coastline over the 2007–2020 period, bathymetry, and numerical modelling of longshore sediment transport over the 1979–2020 period. The largest sand compartments, extending from the submarine environment to the land surface exposed above sea level, occur in Laholmsbukten, Skälderviken, Lommabukten, outside the Falsterbo peninsula, Sandhammaren, and between Kivik and Åhus in Hanöbukten. Lommabukten and the inner parts of Laholmsbukten and Skälderviken are largely closed sediment compartments, as are the area outside the Falsterbo Peninsula, Sandhammaren, most of Hanöbukten, Lundåkrabukten, and Foteviken, which are all exposed to low general wave energies and therefore only weak currents to drive sediment transport. Sandy areas are scarce along the remaining parts of the Skåne coast, the occurrence of sandy areas is relatively low, with exceptions occurring along the coast from Landskrona to the northern limit of Helsingborg and the central parts of the embayments at Beddingestrand and Ystad's Sandskog.

The accumulation of sand into distinct compartments indicates limited sand volumes along the Skåne coastline. In addition, sand is limited in a cross-shore direction in locations where it does not extend to, or beyond, the depth to which waves interact with the seabed. This cross-shore limitation occurs along large stretches of the Skåne coastline. The combination of restricted volumes of sand both alongshore and cross-shore results in limited volumes of sand that can be exchanged between the seabed and land surface. Sand deposited by waves on beaches, some of which is reworked by wind into dunes, is available for re-eroded by waves during storm events. Beaches and dunes therefore provide a natural buffer against coastal erosion. However, limited sand volumes along much of the Skåne coastline indicate high sensitivity to erosion under storms and future sea level rise.

Changes in the position of the coastline over the 2007–2018 period were measured by comparing the position of the ‘dune foot’ in 2018 with its position in 2007. The dune foot is defined as the

boundary that separates the (planar) beach from sand dunes landwards of the beach. Because it may appear as a vegetation line and/or as an erosion scarp, the dune foot is frequently a sharp line that is easily observed in aerial photographs. Between 2007 and 2018, 18% of the 180 km of beaches along the Skåne coastline assessed through dune foot mapping displayed a net erosion exceeding 2 m. By comparison, 26% of beaches displayed net accretion exceeding 2 m, whereas 55% of beaches have displayed no net change (defined here as  $0 \pm 2$  m, which we assess to be a reasonable margin of error in orthophoto interpretation in this study). Erosion over this period has been dominant on the beaches north of Malmö, where the coastline has a westerly aspect (32% of beaches display erosion versus only 8% displaying accumulation). This pattern contrasts with the remaining coastline, which is predominantly southerly and easterly in aspect, where 34% of beaches display accumulation and only 12% display erosion. This spatial contrast likely reflects a dominance by westerly to south westerly winds and resulting waves in sediment transport over this period. However, this analysis indicates that coastal erosion in Skåne has been generally minor during the 2007–2018 period.

The database of existing structures to mitigate coastal erosion and flooding is divided into nature-based, beach nourishment, hard defenses, and mobile defenses. This provides basic data to assess whether they have been best places with respect to coastal geology, whether they have worked as designed, whether they have had negative impacts on the coastline, and how long they last. These data can help in the selection and design of future measures to mitigation coastal erosion and flooding in Skåne and Halland.

## INLEDNING

I södra Sverige finns ett uttalat behov, från aktörer inom kustzons- och fysisk planering, av enhetliga planerings- och kunskapsunderlag för användning i arbetet med projektering av klimatanpassningsåtgärder mot till exempel översvämning och erosion vid kusten, se till exempel *Regional kustsamverkan Skåne-Halland* ([projects.swedgeo.se/RKS-SH](https://projects.swedgeo.se/RKS-SH)).

Underlagen som anses saknas omfattar både kunskap om fysiska och dynamiska förhållanden och kustprocesser, samt tänkbara åtgärder med effekter och konsekvenser. Underlagen är nödvändiga i arbetet med klimatanpassning för hållbar kustzonsutveckling och fysik planering både för dagens och framtida högre havsnivåer samt förändrat klimat och eventuell stormaktivitet.

Nya enhetliga kunskapsunderlag om fysiska och dynamiska förhållanden har därför tagits fram för Skånes kust. Eftersom underlag om kustnära sediment- och vattendjupförhållanden, som krävs för att kunna göra tillförlitliga bedömningar om sedimentdynamik, saknas i Halland, har motsvarande kunskapsunderlag inte kunnat tas fram här. Kartskikten som tagits fram eller modifierats av arbetsgruppen är:

- befintliga erosions- och översvänningsåtgärder kända av kustkommuner och myndigheter längs Hallands och Skånes kuster
- dynfotens förändring i läge mellan 2007 och 2018 i Skåne
- strandmaterial med dynamik i Skåne
- bottenmaterial med dynamik i Skåne
- Skånekustens översiktliga indelning i sedimentsystem
- vågor, strömmar och kustparallell riktning och storlek på sedimenttransport modellerad med vågmodellen SWAN för tidsperioden 1979 till 2020 i Halland och Skåne.

Dessa underlag är eller har intentionen att vara tillgängliga via Sveriges geologiska undersöknings (SGUs) kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Resultaten från vågmodellen SWAN kommer även vara tillgängliga via Statens geotekniska institut (SGIs) kartvisare.

Arbetet med att ta fram resultaten som redovisas i denna rapport har medfinansierats av SMHI:s myndighetsnätverk för klimatanpassning, genom arbetsgruppen ”Klimatanpassningsåtgärder i kustzonen”, under perioden april till december 2020. Studien är också en del av *Regional kustsamverkan Skåne-Halland*, som initierades 2018, för att arbeta med klimatrelaterade problem i kustområdena i Skåne och Halland. Regional kustsamverkan drivs av en arbetsgrupp bestående av länsstyrelserna i Skåne och Halland samt SGI, SGU och en representant för kustkommunerna i Skåne respektive kustkommunerna i Halland. Samarbete sker mellan de myndigheter som är med i Regional kustsamverkan samt relevanta kommuner och universitet. SGI har även delfinansierat, genom medel till SGU, arbetet med att skapa en geodatabas om befintliga erosions- och översvänningsåtgärder. Intentionen är att databasen förvaltas, utvecklas och tillgängliggörs i GIS-system, kartvisare och WMS-tjänster.

## METODER

Bedömningen av fysiska och dynamiska förhållanden i ett kustområde är baserad på en kvalitativ sammanvägning av följande underlag:

- strandmaterial med tillhörande bedömd stranddynamik
- bottenmaterial med tillhörande bedömd sedimentdynamik
- jordarter och berggrund i kustområdet med tillhörande bedömd erosionskänslighet

- erosionsförhållanden och förändringar av kustlinjen baserat på fältobservationer och GIS-analyser av ortofoton tagna mellan 1940-talet och 2010
- förändringar av sand- och grusstränder baserat på uppmätt tillväxt (ackumulation) eller reträtt (erosion) av dynfoten mellan åren 2007 och 2018 baserat på GIS-analyser av ortofoton
- modellerad riktning och styrka på kustparallell sedimenttransport.

I avsnittet *Resultat* analyseras och beskrivs de olika underlagens bidrag till den sammanvägda bedömningen av fysiska och dynamiska förhållanden för respektive kustavsnitt.

De framtagna bedömningarna av fysiska och dynamiska förhållanden har sedan, genom en kvalitativ granskning, kopplats till information om generella resultat, funktion och konsekvenser för befintliga åtgärder mot erosion och översvämning. Se nedan information om respektive underlag.

## Fysiska och dynamiska förhållanden

### *Strandmaterial, stranddynamik, bottenmaterial, sedimentdynamik, jordarter, berggrund och erosionsförhållanden*





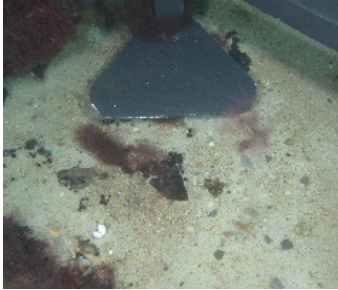




De underlag om strandmaterial med tillhörande stranddynamik, bottenmaterial med tillhörande sedimentdynamik, jordarter och berggrund med tillhörande erosionskänslighet samt erosionsförhållanden som används i denna studie har kartlagts och tagits fram i SGUs projekt Skånestrand och Hallandstrand under åren 2012–2015 respektive 2018–2019, se SGUs kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Kartvisaren samt de geologiska underlagen nås via webbplatsen [www.sgu.se](http://www.sgu.se). Metodiken redovisas i Malmberg Persson m.fl. (2014, 2016, 2019). Underlagen på land är framtagna och redovisade för skala 1:25 000, de minsta ytorna har en storlek av cirka 25 x 25 m (625 m<sup>2</sup>) och de minsta sträckorna cirka 100 m.

För att bättre åskådliggöra havsbottensedimenten samt dess dynamik och transport på havsbotten används den redovisning som tagits fram i Nyberg m.fl. (2020). Här redovisas ytsedimenten och de miljöer de representerar ur en botten-dynamisk och sedimenttransport-synvinkel i fyra klasser, se tabell 1. Botten- eller sedimentdynamik definieras här som hur och hur mycket material av en viss kornstorlek som mobiliseras, transporteras och deponeras i ett område orsakat av fysiska förhållanden och processer. Underlagen som används och redovisas har en upplösning som representerar en skala av 1:25 000 eller 1:100 000, vilket betyder att de minsta ytorna som redovisas är cirka 25 x 30 m (750 m<sup>2</sup>) eller 50 x 60 m (3 000 m<sup>2</sup>) i storlek. Underlagen är framtagna från hydroakustiska grunddata, med en upplösning av 0,5 till 2 m<sup>2</sup>, av yttäckande djupdata samt backscatter- och side scan sonardata, som ger information om sedimentfördelningen i bottenytan. Sedimentekolog och seismikdata, som ger en uppfattning om havsbottens geologiska uppbyggnad och sedimentmängdigheter, har också använts. Bottenbilder har tagits och provtagningar utförts för att verifiera tolkningarna av de hydroakustiska datamängderna (Malmberg-Persson m.fl. 2014, 2016, Nyberg m.fl. 2020).




I havet och kustnära landområden påverkas sediment och jordarter av vågor och strömmar som kan mobilisera, förflytta och deponera sediment.

Gränser av naturliga företeelser som exempelvis erosionsförhållanden, strandtyper, jordarter och sediment är ofta gradvisa i verkligheten, vilket innebär att begränsningslinjer i kartbilder snarare representerar en övergångszon än en skarp gräns.

**Tabell 1.** Ytsediment i bottenområden med typisk tillhörande rådande sedimentdynamisk miljö indelad i fyra klasser. Sedimentdynamik definieras här som hur och hur mycket material med en viss kornstorlek som mobiliseras, transporteras och deponeras i ett område orsakat av fysiska förhållanden och processer. Kornstorlekarna är baserade på SGFs korngruppskala (Karlsson & Hansbo 1984) som används i den geologiska kartläggning som genomförs av SGU, se till exempel Malmberg Persson m.fl. (2016). Tabellen är sammanställd från resultat av SGUs kartläggning Skånestrand, se Malmberg Persson m.fl. (2016), samt kartläggningar av övriga Sverige, se till exempel Slagbrand & Klingberg (2015) och Nyberg m.fl. (2016, 2017).

Symbol i karta	Ytsediment i områden med tillhörande rådande sedimentdynamisk miljö.	
	<p><b>Rörlig sand, lättmobiliserad och lätttransporterad.</b></p>	<p>Företrädesvis ett område med en dynamisk botten som utgörs mestadels av finsand-, mellansandpartiklar, med kornstorlekar upp till cirka 0,6 mm, som mobiliseras och transporteras. Uppvisar i exponerade och dynamiska områden ofta transportmönster som revlar/sandvågor/ripplor samt avsaknad av vegetation. Deposition/ackumulation sker i sänkor/vid hinder eller avtagande vattenrörelser. Del av sandtransportsystemet som kan växelverka mellan land och havsbotten. Transport kan ske över längre sträckor men transporteras huvudsakligen inom de områden där den rörliga sanden redan är avsatt och ansamlad. I områden med rådande låg exponering, till exempel inre Lundåkrabukten och Foteviken, är sanden låg till måttlig dynamisk men kan bli mer rörlig vid en ändrad eller ökad exponering.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
	<p><b>Grövre sand, grus och sten, rör sig tillfälligt och lokalt.</b></p>	<p>Huvudsakligen ett område med en lågdynamisk till måttligt dynamisk botten som utgörs huvudsakligen av grövre sand- och gruspartiklar samt sten, som mobiliseras och transporteras tillfälligt och lokalt. Uppvisar emellanåt transportmönster som vågor/ripplor. Deposition/ackumulation av grövre sand/grus/sten sker i sänkor/vid hinder eller avtagande vattenrörelser. Växelverkan mellan land och havsbotten är av mindre omfattning.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
	<p><b>Grövre sediment av grus, sten och block, som kan röra sig tillfälligt och lokalt, samt blottade berghällar.</b></p>	<p>Huvudsakligen ett område med en stabil och lågdynamisk botten som utgörs framförallt av grövre partiklar som grus, sten och block. Kan mobiliseras, transporteras och deponeras/ackumuleras tillfälligt och lokalt. Växelverkan mellan land och havsbotten är av mindre omfattning.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>



Symbol i karta	Ytsediment i områden med tillhörande rådande sedimentdynamisk miljö.	
	<p>Lera och/eller silt. Lågdynamiskt område med tillfällig transport.</p>	<p>Huvudsakligen ett område med en lågdynamisk och, ur ett erosionskänsligt perspektiv, rådande stabil botten med tillfällig, lokal mobilisering, transport och ackumulation av framförallt ler- och siltpartiklar, samt organiskt material. Transport av dessa lätta partiklar sker över längre sträckor men transporteras huvudsakligen till och inom de områden där partiklarna redan är avsatta och ansamlade. Växelverkan mellan land och havsbotten är av mindre omfattning.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>

### Våg-strömmmodell

Vågors riktning och storlek mot den skånska och halländska kusten modellerades med modellen SWAN (Simulating WAVes Nearshore). Vinddata, mellan 1979 och 2020, som användes för att driva modellen är hämtade från ERA5 reanalysis dataset som tillhandahålls av the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Se vidare i bilaga 1. Modelleringsresultaten finns även tillgängliga via SGIs kartvisare.

### Förändringar av sand- och grusstränder

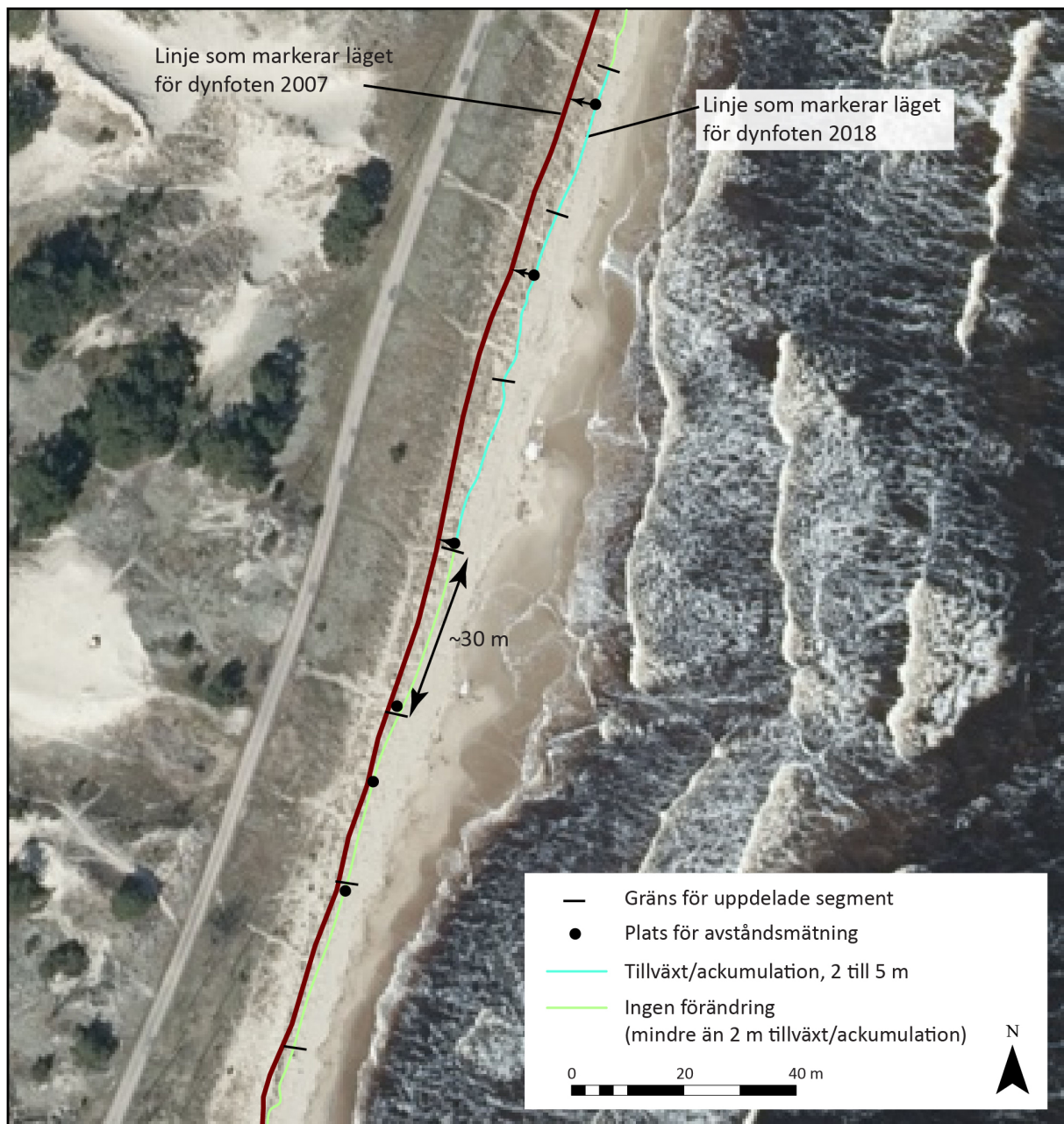
Studier av stränders förändringar är baserade på kartläggning, enligt Malmberg Persson m.fl. (2016, 2019) av strandlinjens förändring mellan 1940 och 2010 samt Nyberg m.fl. (2020), av skillnader i avstånd mellan dynfotens läge synliga i ortofoton tagna 2007 eller 2009 och 2018. För Skånes nordvästra kust finns inte ortofoton tagna 2007, på en sammanlagd sträcka av 28 832 m, tillgängliga. För dessa kustavsnitt användes ortofoton från 2009 istället, se figur 1. Kartläggningen av dynfotens förändring utfördes där sanddyner förekommer i anslutning till sand- och grusstränder. Oftast förekommer en brant, som markerar dynfoten, vilken separerar strandplanet och dynområdet in mot land och som är synlig i ortofoton, se figur 2. Dynfoten kan även observeras som en linje vilken skiljer sediment med vegetation från strandsediment, eller genom en förändring i ytmorfologin från en plan vågtvättad strandyta till en sandyta med gles vegetation som visar en komplex morfologi av höjder och fördjupningar. Förändringen i dynfotens läge observerat så som ovan har alltså kartlagts och skillnaderna i läge i planvy, 2 dimensioner, det vill säga det avstånd i meter mellan 2007 eller 2009 och 2018 användes för att få en uppfattning om erosions- och ackumulationsförhållanden, se figur 2. Ingen volymförändring är följaktligen beräknad. Kartläggningen av dynfotens förändring utfördes i programvaran ArcMap med en skala på 1:1000 från Hallandsgränsen söderut till Trelleborg samt från Abbekås till Åhus. Kartläggningen av sträckan Trelleborg till Abbekås utfördes i en skala på 1:500 i ett studentarbete (Boestam 2020).



**Figur 1.** Sträckor längs Skånes nordvästra kust där ortofoton från 2007 respektive 2009 använts.

Arbetsgången har varit:

- Identifiera och markera dynfotens läge 2007 eller 2009 med en linje. Detta läge används som baslinje för att bedöma erosion eller tillväxt under studerad tidsperiod.
- Identifiera och markera dynfotens läge 2018 med en linje. Jämför med läget 2007 eller 2009.
- Dela upp linjen för dynfotens läge 2018 i cirka 30 m långa segment. Den exakta längden på segmenten beror på längden av hela den markerade linjen som delas upp.
- Använd verktyget "Near Analysis" i ArcGIS för att mäta avståndet mellan de markerade linjerna för dynfotens läge 2007 och 2018. Detta verktyg mäter det minsta avståndet mellan 2007s och 2018s linje inom varje segment.
- Gruppera in resultaten från analysen av avstånd mellan linjerna för dynfotens lägen 2007 och 2018 i olika klasser för varje segment. Detta kan till exempel vara 2–5 m erosion och 2–5 m ackumulation och färgkoda de olika klasserna för illustration.
- Upprepa för varje strand längs kusten.



**Figur 2.** Exempel på använd metodik för att undersöka sand- och grusstränders förändring med avseende på ackumulation och erosion. Dynfotens läge, som separerar dynsystemet inåt land från strandplanet med en erosionsbrant, vid Yngsjö har markerats med en linje i ett ortofoto taget 2018. Avståndet mellan dynfotens läge 2018 och dynfotens läge 2007, markerat på samma sätt i ett ortofoto, mäts vid olika platser. Om avståndet mellan linjerna är större än 2 m bedöms förändringen vara så stor att tillväxt eller erosion kan bestämmas. Längs en del av denna visade sträcka har stranden vuxit till med mellan 2 och 5 m från 2007 till 2018.

Fördelen med att använda dynfotens förändring för bedömning av erosion och ackumulation längs kustavsnitt jämfört med strandlinjens läge är att övergången mellan strandplanet och dynområden är relativt skarp och tydlig. Dessutom förekommer inte felkällor som exempelvis vattenståndsförändringar vilka kan förekomma då strandlinjens förändring studeras i ortofoton. Vattenstånd beror på skillnader i lufttryck, vindförhållanden och våghöjder och kan vara helt skilda åt vid olika fototillfällen. En nackdel med att använda dynfotens förändring kan dock vara att exempelvis låg vegetation, träd eller uppsköldad tång vid stormtillfällen kan dölja dynfoten. En annan nackdel är att det förekommer säsongvariationer i strandens morfologi, vegetation och tillväxt av begynnande dyner med gles vegetation. Dyner kan bildas under sommarmånaderna för



att försvinna under vintermånaderna. En omförflyttning av sand kan alltså ske inom strandområdet och inte en transport av sand till eller från området. Dessa företeelser orsakar en osäkerhet vid bedömning av trender i strandens ackumulations- och erosionsförhållanden under längre tid som decennier.

Bedömning av förändring av dynfotens läge utfördes på de kustavsnitt som klassades, dokumenterades och kartlades som sand- och grusstränder i SGUs projekt Skånestrand, se Malmberg Persson m.fl. (2016). Andra strandtyper med grövre strandmaterial som klapper, sten, block, morän, hällar och berg eller kusttyp som klint och marsk undersöktes inte eftersom dessa kustavsnitt vanligtvis har en lägre dynamik och erosionskänslighet än vad sand- och grusstränder har samt oftast en avsaknad av dynfot. Trots den lägre dynamiken kan kustavsnitt med grövre material ändå vara utsatta för en så hög exponering att grövre material rör sig stundtals. Framtida studier kan även utföras på dessa sträckor. Sand och finkornigt material är oftast längs dessa kuststräckor ursköljda och borttransporterade.

## Sammanställning av befintliga åtgärder

En geodatabas om befintliga erosions- och översvämningståtgärder kända av kustkommuner och myndigheter längs Hallands och Skånes kuster har skapats. Informationen kommer från inrapporterningar i en utskickad Excel-blankett där över 200 skydd med läge och metadata som till exempel ålder, material, funktioner samt effekter och konsekvenser om skydden registrerats, se tabell 2. Geodatabasen har attribut för att kunna användas, förvaltas och utvecklas i GIS-system, publiceras i rapporter, kartvisare och WMS-tjänster. Avsikten är också att hålla denna databas levande där exempelvis nya skyddsåtgärder eller borttagande av äldre skydd registreras.

**Tabell 2.** Metadatainformation för dokumentation av kända befintliga erosions- och översvämningståtgärder insamlade och skapad en geodatabas av.

Typ av erosionskydd								
Hårt				Strandfodring	Naturbaserade			Annat
Skoning	Vågbrytare	Hövder och bryggor	Spont		Vegetation	Strandstaket	Förstärkning och restaurering befintliga dynsystem	

Typ av översvämningsskydd			
Invallning, utfyllnad	Markhöjning	Slussportar /barriärer	Annat

Storlek, (längd x bredd x höjd) i meter längs med strandlinjen	Skyddets läge vid kusten, (land, strandkant, havsbotten)	När anlades skyddet	Konstruktion, material	Underhåll, om när	Resultat och funktion	Konsekvenser kring anläggandet eller placeringen av skydden	Övrigt

# RESULTAT

## Allmänt

### *Sand- och grusstränder samt sedimentsystem*

Precis som för en stor del av Sveriges kust är sand- och grusavlagringarna längs den skånska och halländska kusten framförallt bildade från isälvs- och moränavlagringar genom svallning, omlagring och lokal förflyttning. Eftersom både land och havsbotten har höjt sig sedan de varit nedpressade av inlandsisen, har strandlinjen och kusten förskjutits och därmed i delar förändrats och utsatts för olika tidsperioders rådande vind- och vågförhållanden. Variationen i strandlinjens läge beror på ett växelspel mellan havsytans stigning och jordskorpan höjning. Havsnivån har därmed varierat sedan istiden och befunnit sig både ovan och under dagens nivå.

Sand- och grusstränder förekommer oftast i bukter där större sandavlagringar, både på land och havsbotten, ackumulerats över tid, se figurer 3–14 och kartvisaren *Stranderosion och geologi, kust*. Bukterna har varierande storlek, med längder från några 100 m till flera kilometer, och form på grund av att de har bildats och förekommer mellan områden med svåreroderad berg och jord. De svåreroderade områdena resulterar vanligtvis i uddar, som också har olika storlekar och form. Mindre bukter kan även existera inom en större bukt.

Svåreroderat material på havsbotten i anslutning till uddarna och land ger en förhållandevis grundare botten med grövre material. Tillsammans med uddarna försvårar eller förhindrar dessa kustparallell transport av sediment på havsbotten mellan bukterna. Detta kan resultera i sedimentsystem som är separerade och slutna från varandra. Ju tydligare barriär som omger en bukt eller kustavsnitt, desto mer separerad eller slutna är bukten eller kustavsnittet vad gäller sandtransport. Förutom uddar och grundare bottenområden kan barriärerna också utgöras av, mänskliga konstruktioner. Även djupare bottenområden kan göra att sandtransporten avstannar,

En enskild bukt kan vara ett eget separat, det vill säga slutet, sedimentsystem, där mängden sand är ungefär den samma över tid. Sand varken tillförs eller förs bort utan omfördelas över tid inom området. Även längre kustavsnitt och flera sammanhängande bukter kan utgöra ett och samma slutna sedimentsystem då transport sker mellan bukter och kustavsnitt. I ett sedimentsystem bestående av flera bukter kan en bukt ha negativ sedimentbudget och en annan närliggande bukt positiv sedimentbudget. Exempelvis, om ett sedimentsystem och en bukt vid sin ena gräns har en udde med anslutande grundare bottenområde som tydligt hindrar införsel av sand till bukten och sedimentsystemet, men vid sin andra gräns har en udde som släpper förbi sand så förlorar bukten sand över tid och det råder en negativ sedimentbudget. Ett sådant förhållande kan vara orsaken till erosionsproblem. Om bukten som tar emot sand fungerar som slutstation på grund av barriärer i den fortsatta transportriktningen kommer sanden deponeras och ackumuleras här. Om en rubbning uppstår i sedimentsystemet av mängden sand och riktning som transporteras och ackumuleras kan även erosionsproblem uppstå i denna bukt.

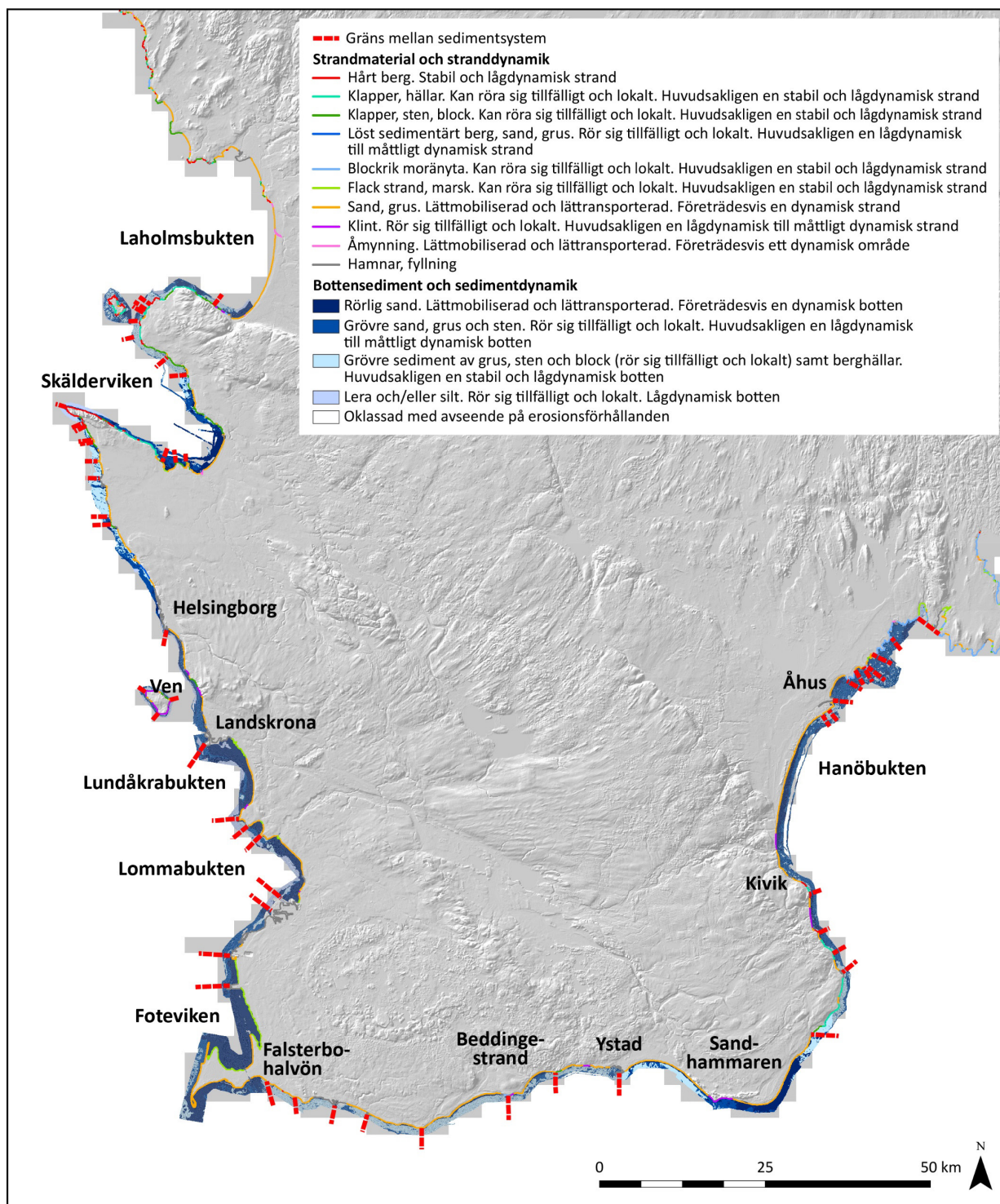
Under rådande förhållanden förändras inte sand- och grusområdets förekomst nämnvärt längs med den svenska kusten. Storleken på och antalet avlagringar samt mängden av sand och grus i olika områden är i stort sett densamma. Rörlig sand kan transporteras över längre sträckor men transporteras framför allt inom de sedimentsystem och områden där sand redan förekommer, se figurer 3–14. Riktning och mängd sand som transporteras beror på väderförhållandena. Mängden sand inom respektive sandområde och sedimentsystem förändras marginellt, men en omfördelning av sand kan inom sandförekomsten ske. Sandtransporten kan dock förändra gränserna för respektive sandområdes utbredning.

En kvalitativ bedömning och indelning av Skånekustens storskaliga sedimentsystem visas i figur 3. Bedömningen är baserad på förekomsten av sammanhängande eller separerade sandområden, förändringar i strandlinje och dynfotens läge, havsbottens morfologi, förekomst av hinder i form av grunda bottnar, uddar eller konstruktioner samt den modellerade kustparallella sedimenttransportriktningen. Bedömningen gäller endast transport av sand orsakad av vattenrörelser i havet. Transport av sand orsakad av vind förekommer också, både ut till havs och på land (Lindell m.fl. 2017), men är av mindre omfattning (Fredriksson m.fl. 2017).

Skånekusten, med ön Ven, har översiktligt delats in i 56 olika inbördes separerade och slutna sedimentsystem. De största sammanhängande dynamiska sandområdena och slutna sediment-systemen på havsbotten förekommer i Laholmsbukten, Skälderviken, Lommabukten, utanför Falsterbohalvön, Sandhammaren samt mellan Kivik och Åhus i Hanöbukten, se figur 3. I delar av dessa områden förekommer rörlig sand åtminstone ned till cirka 10 m vattendjup vilket innebär att sand förekommer i hela den aktiva strandprofilen och kan interagera mellan land och hav. Lommabukten och de inre delarna av Laholmsbukten och Skälderviken kan betraktas som mer eller mindre slutna sedimentsystem. I ett större perspektiv kan även området utanför Falsterbohalvön, Sandhammaren och Hanöbukten betraktas som slutna. Stora sammanhängande sandområden förekommer också i Lundåkrabukten och Foteviken. Dessa områden kan betraktas som mer eller mindre slutna sedimentsystem. Partikelstorleken inom buktena indikerar en potentiellt hög sedimentdynamik, men i praktiken uppvisar bottenarna relativt låg sedimentdynamik på grund av en relativt låg exponering för vågor och bottenströmmar.

I resterande delar av Skånekusten är förekomsten av rörliga sandområden relativt låg, med undantag för en lite större förekomst längs kusten från strax norr om Helsingborgs till Landskronas tätorter, de centrala delarna i buktena vid Beddingestrand och Ystads Sandskog. Längs långa kuststräckor i Skåne förekommer rörlig sand inte i hela den aktiva strandprofilen, det vill säga ned till konvergensdjupet. Detta ger en relativt liten sandmängd som kan interagera mellan land och hav längs stora delar av Skånes kust.

Förekomst och mängd sand i den aktiva strandprofilen kan ha betydelse för erosions- och ackumulationsförhållanden och följaktligen hur kusten samt stränderna reagerar vid ett förändrat klimat och högre havsnivåer (Birgander m.fl. 2018). Sand förväntas mestadels nettotransporteras in mot land då havsnivåerna höjs (Cooper 2020) och kan därmed, med dess dynamiska egenskaper, ha en förmåga att dämpa erosionsprocessen. En mindre tillgång till dynamisk sand i den aktiva strandprofilen kan ha betydelse för strändernas anpassning och respons till en högre havsnivå och ett förändrat klimat om den naturliga sandtransporten och strändernas naturliga respons och förflyttning in mot land hindras eller påverkas (Woodroffe 2002). Förekomst och mängd sand, både på land och havsbotten inom den aktiva profilen samt in mot land, bör inkluderas i erosions- och översvämningsprognoser och beaktas vid planering av åtgärder.



**Figur 3.** Översiktlig indelning av sedimentsystem, som är mer eller mindre separerade från varandra, närmast land och parallellt längs Skånekusten. Strandmaterial med tillhörande stranddynamik samt ytsediment för olika bottenområden med tillhörande sedimentdynamik visas också.

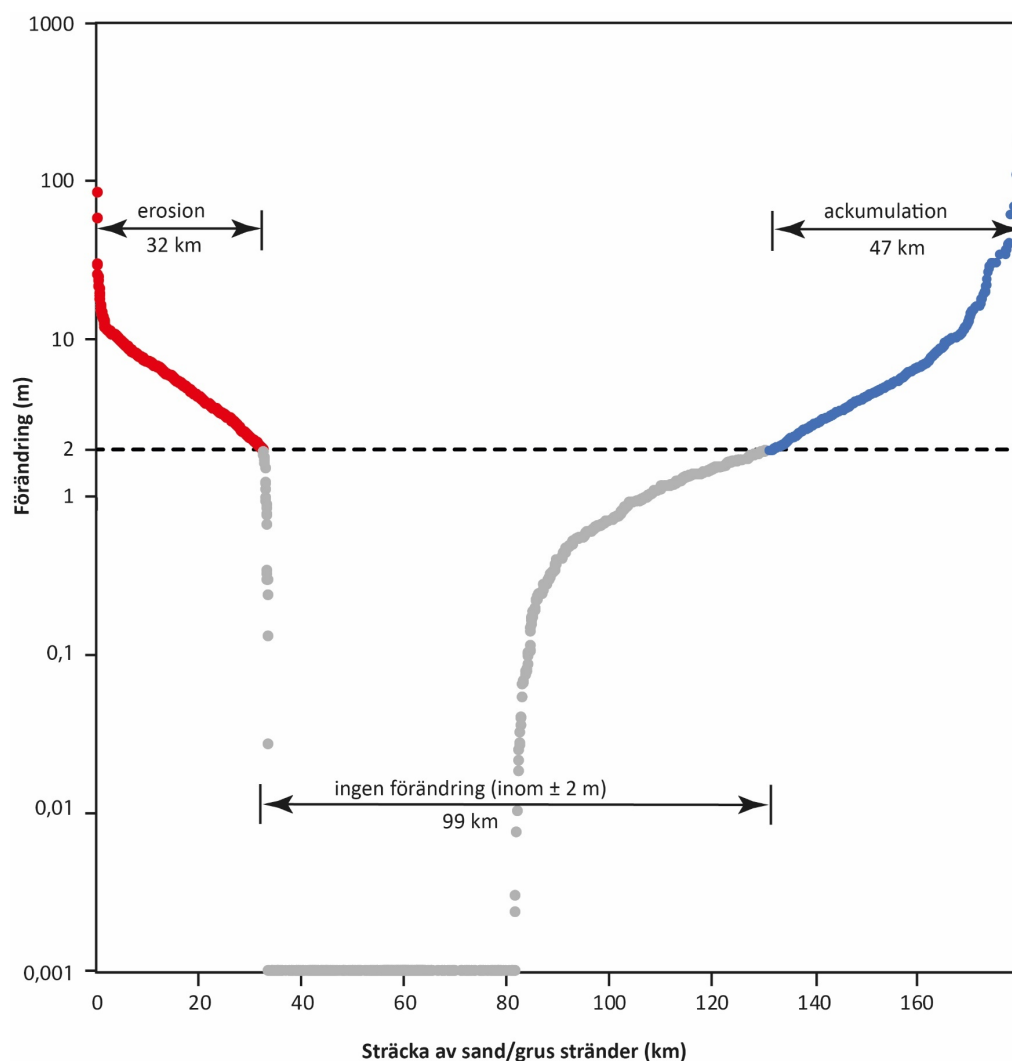
### Förändringar av sand- och grusstränder

Skånes kust består av cirka 250 km sand- och grusstränder. Av dessa har cirka 180 km undersökts med avseende på förändringar i dynfotens läge. Förändringar som är mindre än 2 m betraktas som osäkra i denna studie i bedömningen av erosion (reträtt) eller ackumulation (tillväxt).

55 % av de undersökta sand- och grusstränderna, uppvisar förändringar som är mindre än 2 m, det vill säga uppvisar en förändring som är osäker, från åren 2007 till 2018. Sannolikt har mindre förändringar längs med vissa sträckor dock förekommit. Nettoackumulation har förekommit längs med 26 % och nettoerosion längs med 18 %. Erosion har förekommit mer på stränder som vetter mot väst, vilket kan bero på att sydvästliga–västliga vindar dominerar över andra riktningar och orsakar en större förekomst av vågor och exponering från väst. Exempelvis har 32 % av sand- och grusstränderna från Hallandsgränsen till Malmö längs Skånes västkust eroderat och enbart 8 % ackumulerat. Längs syd- och östkusten har däremot enbart 12 % eroderat medan 34 % ackumulerat.

**Tabell 3.** Förändringar av dynfotens läge för sand- och grusstränder i Skåne, 2007–2018.

Förändring från 2007 till 2018	Antal meter	Andel (%)
Erosion (reträtt)	32 483	18
Ingen förändring ( $\pm 2$ m)	99 361	55
Akkumulation (tillväxt)	47 469	26
<b>Totalt</b>	<b>179 313</b>	<b>100</b>



**Figur 4.** Förändring av dynfotens läge längs Skånes sand- och grusstränder mellan 2007 och 2018. Förändring (y-axeln) redovisas från den största reträtten av dynfoten, till vänster, till den största ackumulation (tillväxten) av dynfoten till höger längs med de 179 km (x-axeln) av undersökta sand- och grusstränder i Skåne. Skalan på y-axeln är logaritmisk och ökar i multiplar om tio för att markera förändringar.



### ***Klint-och klippkust***

Där den kustnära terrängen ligger några meter högre än havsytan och det geologiska materialet utgörs av jordarter eller berggrund kallas kusten för klint- respektive klippkust. Klintkuster är vanliga längs delar av Skånes västkust, runt Ven och på östkusten norr om Vik. För att klintar i jord ska uppstå krävs vanligen att sedimenten har ett betydande inslag av kohesionsmaterial, det vill säga lera och silt. De vanligaste jordarterna i klintarna vid Skånekusten är lerig morän, moränlera och leriga-siltiga-finsandiga issjösediment. Klippkust med lättroderad berggrund förekommer längs ett par kustavsnitt, till exempel vid Sofiero och Kulla Gunnarstorp, norr om Helsingborg, där lös berggrund av jurassisk ålder eroderas.

Klint- och klippkusten eroderas genom att ras och skred sker i branterna. Dessa processer initieras genom att den undre delen av branten utsätts för vågor och högre vattenstånd, framför allt vid stormar. På så sätt undermineras branten och ras och skred kan inträffa direkt eller efter en tid. Grundvatten som tränger fram i branten kan påskynda processerna. Det material som rasar ner på stranden kommer efterhand att bearbetas, sorteras och transporteras bort av vågorna. Denna typ av erosion är irreversibel i den meningen att klintens övre del, där markplanet börjar, oundvikligen rycker tillbaka. Själva strandplanet kan dock tillfälligt bli bredare på grund av de nedrasade jordmassorna.

### ***Kronisk erosion***

Kronisk erosion orsakas av att den totala tillförselelsen av sediment till ett område är mindre än borttransporten över tid. Kronisk erosion är inte kopplad till erosion orsakad av storm, utan beror på en obalans mellan tillförsel och bortförselelse av sediment. Transporten av mängden sand beror på sandtillgång, exponering och den förändring av botten som uppträder över vilken sanden transporteras parallellt längs med eller tvärs kusten. Bottenförhållandena varierar på grund av vattendjup och beskaffenhet, kustens form och naturliga eller mänskligt gjorda strukturer. Ett exempel på område som utsätts för kronisk erosion är Ystads Sandskog. Vid kronisk erosion sker över tid en permanent förlust av land till havet.

### ***Akut erosion***

Akut erosion orsakas av en kombination av vågor och högt vattenstånd, vilket vanligtvis är förknippat med stormar. I samband med dessa händelser kan sand eller annat material eroderas i den övre delen av den aktiva strandprofilen och föras ned till lägre nivåer och resultera i kusterosion. Om materialet som eroderar huvudsakligen består av sand kan kusten återhämta sig helt eller delvis efter en storm. Om materialet däremot är av grövre karaktär eller om det är en klint- eller klippkust som bryter av mot havet är erosionen irreversibel, det vill säga kustens förändring är oåterkallelig. Akut erosion kan också inträffa då vågor och strömmar kommer från en annan riktning än normalt och därmed orsakar en förändring i strand- och bottedynamik. Säsongsvariationer av exponering för olika kustavsnitt betraktas också som akut erosion.

Akut erosion behöver, som beskrivs ovan, inte leda till någon permanent förlust av land till havet. Däremot riskerar akut erosion att leda till genombrott av sanddynor så att den höga havsnivå som råder vid erosionstillfället tränger in till och översvämmar områden bakom dynerna. Akut erosion kan också underminera och skada värdeobjekt som ligger kustnära, exempelvis vägar eller byggnader. Även om själva strandens erosionsskador vid akut erosion kan läka naturligt är eventuella skador på kustnära objekt inte naturligt reversibla.

## Laholmsbukten, inre och yttre (Båstads kommun)

Strand- och bottenmaterialet längs stora sträckor av kusten från Båstad till Torekov består av ett naturligt residualmaterial med grövre fraktioner av grövre sand, grus, sten och block samt berg som skyddar mot erosion, se figur 3, 5A, 5B och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Strand- och bottenmaterialet är i dessa områden därför svärmobiliserat och mindre känsligt för erosion, och transporteras bara tillfälligt. Finkorniga sediment är ursköljda. Strand- och sedimentdynamiken är låg. Detta innebär att dessa kuststräckor är relativt stabila och har generellt en liten eller obetydlig erosion under rådande förhållanden.

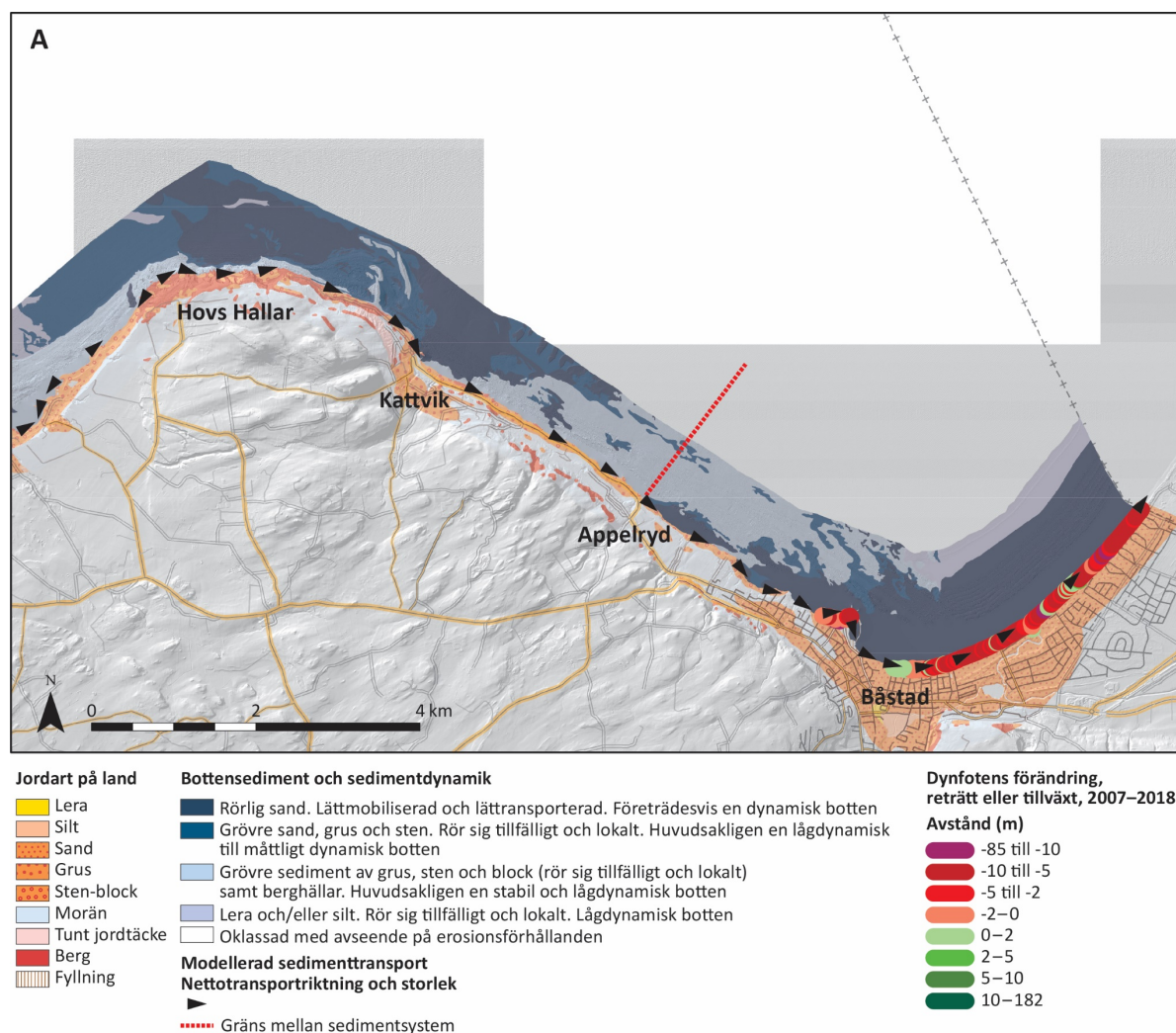
Dynamiska sand- och grusstränder förekommer i den inre delen av Laholmsbukten vid Båstads tätort och norr om Torekov, se figur 3, 5A, 5B och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Klintar uppbyggda av grövre material (morän) och utsatta för akut erosion finns vid Kattvik och Appelryd, där materialet på strandplanet består av sand, grus, sten och block. Områden på havsbotten med den rörliga sanden, som är en del av sandtransportsystemet och kan växelverka med land, förekommer direkt vid strandkanten i anslutning till sand- och grusstränderna och klintstränderna. Sandområdenas utbredning i direkt anslutning till strandkanten är bukterna norr om Torekov, och från Appelryd ökande fläckvis österut till den inre delen av Laholmsbukten där de förekommer vid strandkanten längs med hela kuststräckan, se figur 5A. Sandområden som kan vara en del av den aktiva strandprofilen förekommer utåt från strandkanten vid Appelryd ned till cirka 3–5 m vattendjup, cirka 200–400 m från strandkanten och i den inre delen av Laholmsbukten ut till åtminstone cirka 6–8 m vattendjup, det vill säga 900–1 100 m från strandkanten.

En del av sanden som förekommer direkt vid strandkanten på havsbotten vid Kattvik och Appelryd kan vara ursköljd och sorterad från grövre strandmaterial under tidiga erosionshändelser.

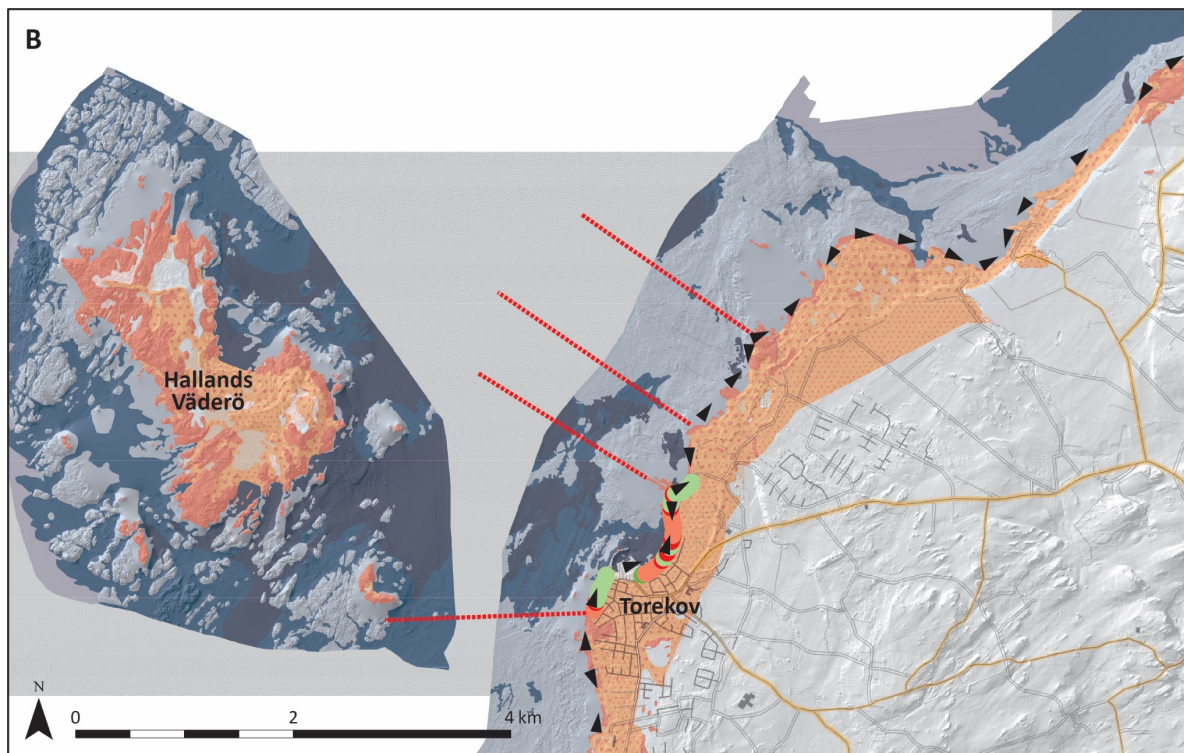
Förekomsten av stora områden med rörlig sand i den inre delen av Laholmsbukten, både på land och hav, kan förklaras av att här har en stor ursprunglig avsättning av sandrika jordarter skett i anslutning till den senaste istiden. Omlagring, sortering och förflyttning av sand med både vatten och vind har sedan dess ägt rum inom området under olika havsnivåer och ström-, våg- och vindförhållanden, sedan den ursprungliga avsättningen (Daniel 2006). Denna omfördelning av sand inom området verkar också ske under rådande förhållanden då stranden sedan 1960-talet växelsvis utsätts för erosion och ackumulation (Malmberg Persson m.fl. 2016). Exempelvis har mestadels en reträtt av dynfoten skett vid sand- och grusstränderna i den södra delen av Laholmsbukten i Båstads kommun mellan åren 2007 och 2018, se figur 5A. Nettosandtransporten är enligt våg-strömmodellen riktad österut in mot och norrut mot de centrala delarna i bukten längs stranden, vilket stöds av observerad ackumulation av rörlig sand på västsidan av byggda hövder i Båstad, och en ökande förekomst av sand mot den inre centrala delen av stranden i bukten. Detta kan innebära att stränderna i Båstad under rådande förhållanden har en negativ sedimentbudget med en större borttransport än tillförsel av sand. Transport kan ske av vågor, strömmar eller vind österut–norrut eller mot djupare vatten. Framtida studier får utvisa vad som är fallet och om det är orsakat av akut eller kronisk erosion.

I bukterna norr om Torekov, som är bildade mellan avgränsande områden bestående av svår-eroderad berg och jord, förekommer sandområden, se figur 3, 5B och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Sanddynernas reträtt och tillväxt indikerar att stränderna eroderas och ackumuleras växelsvis och har en sedimentbudget som huvudsakligen är i balans inom områdena. Detta indikeras också av våg-strömmodellen som visar en nettotransport söderut i de norra delarna och norrut i de södra delarna av bukterna. Vidare visar exempelvis den norra delen av bukten vid Torekov ha eroderat och den södra delen vuxit till sedan 1940-talet (Malmberg Persson m.fl. 2016). En viss förlust av sand från dessa områden till djupare vatten eller inåt land kan eventuellt förekomma.

Områden med rörlig sand på havsbotten förekommer även med relativt stor utbredning mellan Hallands Väderö och Torekov, utanför Hovs Hallar och Kattvik, se figurer 5A och 5B. Dessa områden är belägna på förhållandevis djupare vatten formade med riktning efter havsbottens morfologi, en bit från stranden, och delvis avskilda från områden med rörlig sand vid kusten. Detta kan innebära att sanden rör sig inom dessa områden, under rådande förhållanden, och därmed inte ingår i det sandtransportsystem som interagerar mellan land och hav och därmed i den aktiva strandprofilen. Former i sandens utbredning tyder på en nord-sydlig transport. Framtida studier får utvisa om detta är fallet.



**Figur 5A och B (nästa sida).** Fysiska och dynamiska förhållanden vid Båstad i den inre delen (A) och Torekov i den yttre delen (B) av Laholmsbukten. Sand- och grusstränder förekommer där dynfotens förändrade läge mellan 2007 och 2018 redovisas. En förändring mindre än 2 meter betraktas som osäker. Den modellerade sedimenttransporten har tagits fram med vågmodellen SWAN och visar den teoretiskt årliga nettoriktningen och nettostorleken från 1979 till 2020. Förekomsten av olika typer bottensediment och dess dynamik har inte beaktats vid modelleringen. De röda streckade linjerna markerar översiktligt gräns mellan sedimentsystem närmast land.



**Jordart på land**

- Lera
- Silt
- Sand
- Grus
- Sten-block
- Morän
- Tunt jordtäckte
- Berg
- Fyllning

**Bottensediment och sedimentdynamik**

- Rörlig sand. Lättmobiliserad och lätttransporterad. Företrädesvis en dynamisk botten
- Grövre sand, grus och sten. Rör sig tillfälligt och lokalt. Huvudsakligen en lågdynamisk till måttligt dynamisk botten
- Grövre sediment av grus, sten och block (rör sig tillfälligt och lokalt) samt berghällar. Huvudsakligen en stabil och lågdynamisk botten
- Lera och/eller silt. Rör sig tillfälligt och lokalt. Lågdynamisk botten
- Oklassad med avseende på erosionsförhållanden

**Modellerad sedimenttransport  
Nettotransportriktning och storlek**

- Gräns mellan sedimentsystem

**Dynfotens förändring,  
reträtt eller tillväxt, 2007–2018**

**Avstånd (m)**

- 85 till -10
- 10 till -5
- 5 till -2
- 2–0
- 0–2
- 2–5
- 5–10
- 10–182

## Skälderviken (Båstads, Ängelholms, Helsingborgs och Höganäs kommuner)

### Norra delen

Strand- och bottenmaterialet längs stora sträckor av den norra kuststräckan i Skälderviken, från Torekov till Vejbystrand, består av ett naturligt residualmaterial med grövre fraktioner av grövre sand, grus, sten och block, se figur 3, 6A och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Hårt berg som gnejs och kambrisk sandsten förekommer också. Strand- och bottenmaterialet är i dessa områden därför svårmobiliserat och mindre känsligt för erosion, och transporteras tillfälligt. Finkorniga sediment är här ursköljda. Strand- och sedimentdynamiken är därför låg. Detta innebär att dessa kuststräckor är relativt stabila och har generellt en liten eller obetydlig erosion under rådande förhållanden.

Dynamiska sand- och grusstränder förekommer bland annat vid Glimminge, öster om Öllövsstrand, Ängelbäckstrand och Vejbystrand. Områden på havsbotten med den rörliga sanden, som är en del av sandtransportsystemet och kan växelverka med land, förekommer direkt vid strandkanten i anslutning till sand- och grusstränderna och ökar fläckvis mot den inre delen av Skälderviken, där den har störst utbredning. Sand- och grusstränderna förekommer i bukter mellan avgränsande områden bestående av svåreroderad berg och jord. I vissa av buktarna, som vid Ängelbäckstrand och Vejbystrand, utsätts stränderna växelvis för erosion och ackumulation, vilket framgår av både tillväxt och reträtt av dynfotens läge, se figur 6A. Våg-strömmodellen visar en sedimenttransport in mot mitten av dessa bukter från två riktningar. Detta kan peka på att i dessa bukter förekommer mer eller mindre slutna sedimentsystem som huvudsakligen är i balans. Dock verkar det som om att en reträtt av dynfoten dominerar över tillväxt i en del bukter, se figur 6A, vilket kan indikera att här förekommer en förlust av sand. Framtida mer detaljerade studier får undersöka om sanden förs bort genom kronisk eller akut erosion till andra närliggande, strandnära eller djupare bottenområden genom vatten- eller vindtransport eller till andra områden på land genom vindtransport. Den teoretiskt potentiella beräknade kustparallella nettosedimenttransporten är enligt våg-strömmodellen längs stora delar av den norra kuststräckan riktad österut längs stranden mot den inre delen av Skälderviken.

### Södra och inre delen

Förekomsten av stora områden med rörlig sand i den inre delen av Skälderviken, både på land och hav, kan förklaras av att här har en stor ursprunglig avsättning av sandrika jordarter skett i anslutning till den senaste istiden. Omlagring, sortering och förflyttning av sand med både vatten och vind har sedan dess ägt rum inom området under olika havsnivåer och ström-, våg- och vindförhållanden, sedan den ursprungliga avsättningen. Denna omfördelning av sand inom området verkar också ske under rådande förhållanden då delar av kusten, observerat sedan 1940-talet, växelvis utsätts för erosion och ackumulation (Malmberg Persson m.fl. 2016) och dynfotens läge ändrat sig mellan 2007 och 2018, se figur 6B.

Stranden i inre delen av Skälderviken utgörs av en sandstrand med dyner. I havsbottenytan förekommer över stora områden rörlig och relativt väl sorterad fin–mellansand, med mäktigheter från några centimeter upp till cirka två meter, som kan interagera med sanden på land. Denna rörliga sand förekommer åtminstone i vissa områden ned till cirka 10 m vattendjup, cirka 1 000 m från strandkanten. Den inre delen av Skälderviken verkar, i en större skala, vara avskild från Öresund och Kattegatt med avseende på sandtransport då Kullaberg och Bjärehalvön tillsammans med ett större vattendjup i den yttre delen av viken samt ett antal batymetriska hinder, mellan den yttre och inre delen, utgör skyddsbarriärer för sandtransport, se figur 6A och B och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Detta, tillsammans med att områden av rörlig sand minskar i antal och storlek utåt i Skälderviken och är avskilda både från varandra samt från det

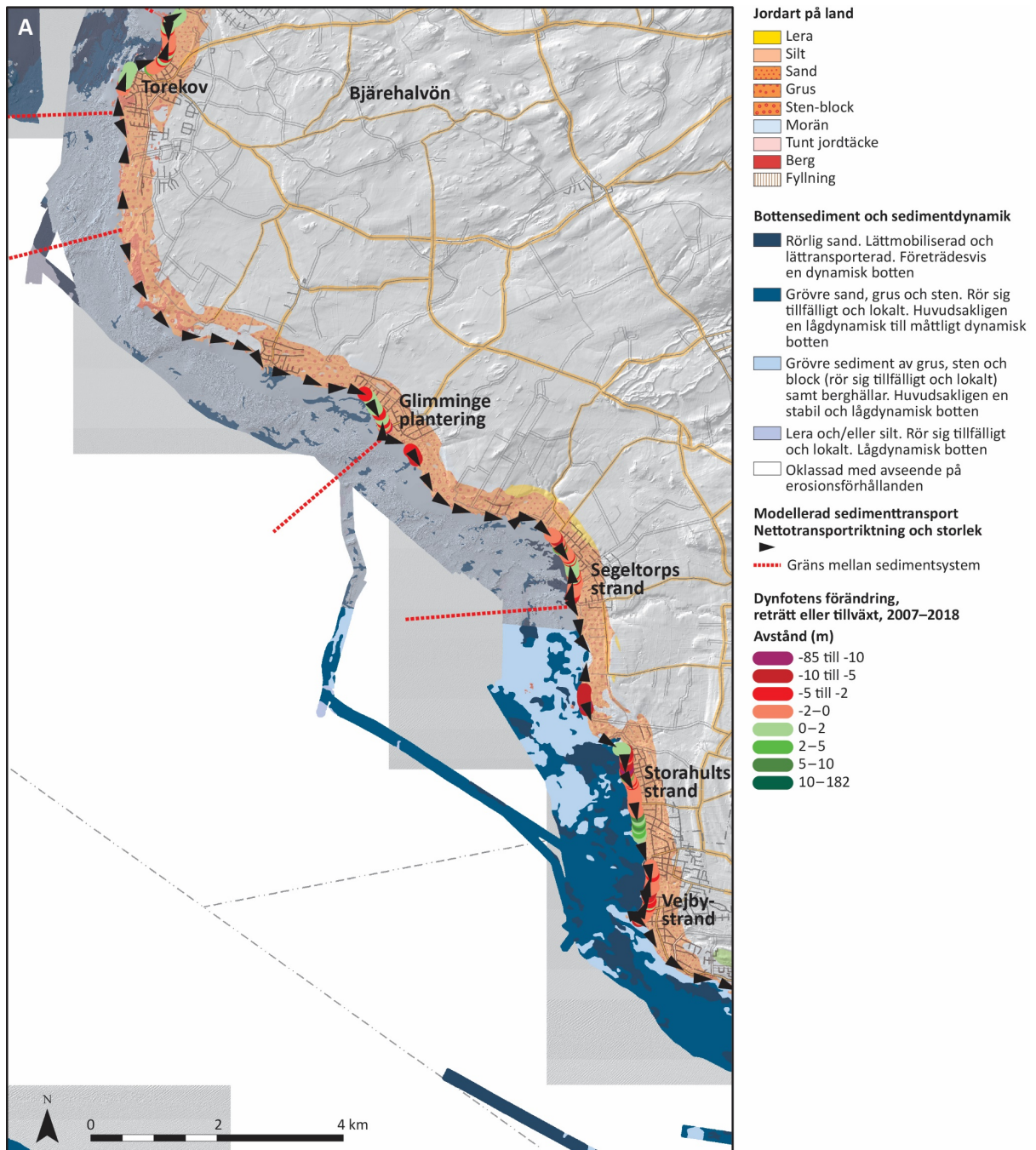


större området med rörlig sand i den inre delen, innebär att det kan finnas anledning att betrakta de inre delarna av Skälderviken som ett relativt slutet sedimentsystem.

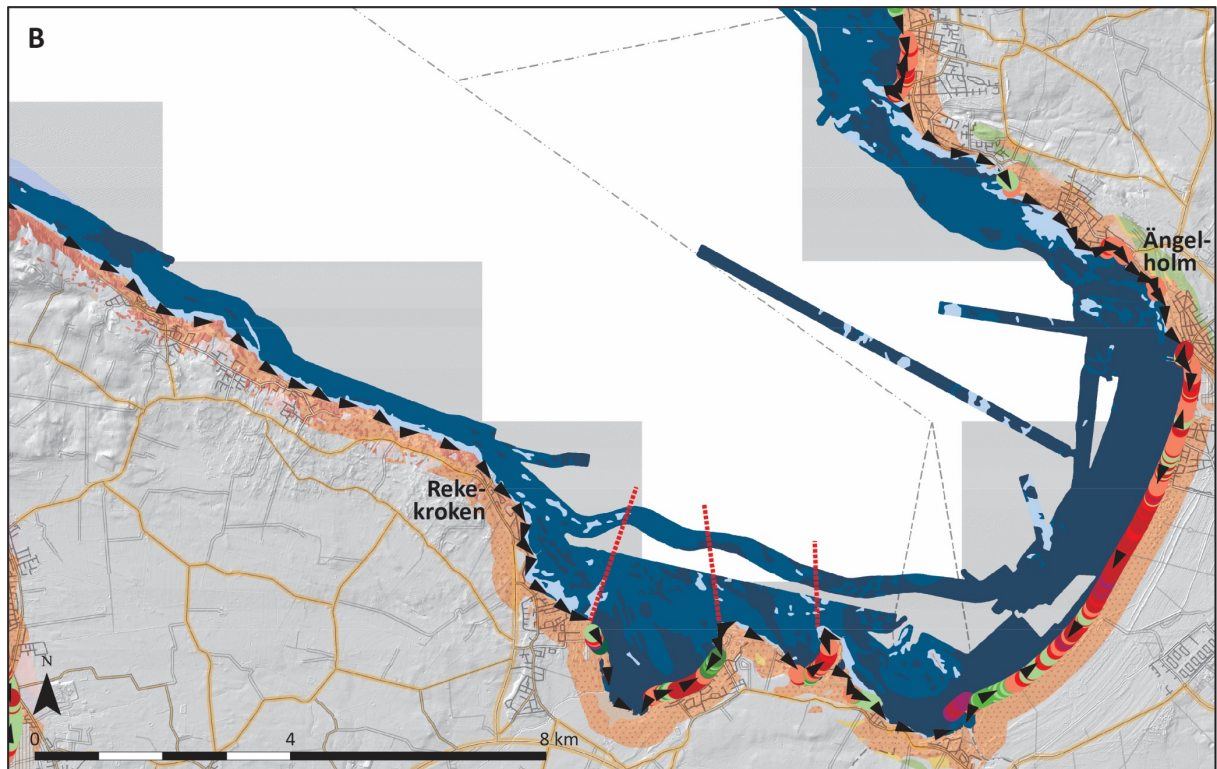
Dynfoten har haft en tillväxt längs med större sträckor på den södra delen av stranden mellan 2007 och 2018, se figur 6B. Studier av historiska strandlinjer i flygfoton indikerar också en viss strandtillväxt i de södra delarna, vilket kan innebära en nettotransport av sand söderut längs med stranden. En undersökning av Sweco (2011) visar att sanden på södra delen av stranden har en mindre kornstorlek än sanden på norra delen, vilket tolkas som att fint material transporteras söderut längs stranden, med vatten och/eller vind. Om sand tas bort från detta mer eller mindre slutna sedimentsystem kan risken för erosion längs stränderna öka. Lindell (2017) har också visat att en borttransport av sand från stranden inåt land sker med vind. På längre sikt måste också en viss förlust av sand till djupare vatten förväntas.

Dynamiska sand- och grusstränder med både erosion och tillväxt förekommer i bukter från Ängelholm till Rekekroken, se figur 3 och 6B. I buktarna, i denna sydöstra del av Skälderviken, förekommer också rörlig sand på havsbotten som kan interagera med stranden på land. Vågströmmodellen visar en sedimenttransport in mot mitten av en del bukter från två riktningar. Detta kan innebära att i dessa bukter förekommer mer eller mindre slutna sedimentsystem som huvudsakligen är i balans.

Strand- och bottenmaterialet, från Rekekroken till Kullen, består till stora delar av ett naturligt residualmaterial med grövre fraktioner av grövre sand, grus, sten och block, se figur 3 och 6B och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Hårt berg som gnejs och kambrisk sandsten förekommer också. Strand- och bottenmaterialet är i dessa områden svårmobiliserat och mindre känsligt för erosion, och transporteras bara tillfälligt. Finkorniga sediment är här ursköjda. Strand- och sedimentdynamiken är låg. Detta innebär att dessa kuststräckor är relativt stabila och har, generellt, en liten eller obetydlig erosion under rådande förhållanden. Den södra kusten av Skälderviken har precis som den norra kusten en teoretisk dominerande kustparallell sedimenttransport, enligt vågströmmodellen, riktad österut längs stranden mot den inre delen av Skälderviken. Områden med rörlig sand på havsbotten längs med kuststräckan förekommer men minskar i antal och storlek västerut mot Kullen.



**Figur 6A och B (nästa sida).** Fysiska och dynamiska förhållanden för stränderna i norra (A) samt inre och södra (B) delarna av Skälderviken. Sand- och grusstränder förekommer där dynfotens förändrade läge mellan 2007 och 2018 redovisas. En förändring mindre än 2 m betraktas som osäker. Den modellerade sedimenttransporten har tagits fram med vågmodellen SWAN och visar den teoretiskt årliga nettoorienteringen och nettostorleken från 1979 till 2020. Förekomsten av olika typer bottensediment och dess dynamik har inte beaktats vid modelleringen. De röda streckade linjerna markerar översiktligt gräns mellan sedimentsystem närmast land.



#### Jordart på land

- Lera
- Silt
- Sand
- Grus
- Sten-block
- Morän
- Tunt jordtäckte
- Berg
- Fyllning

#### Bottensediment och sedimentdynamik

- Rörlig sand. Lättmobiliserad och lätttransporterad. Företrädesvis en dynamisk botten
- Grövre sand, grus och sten. Rör sig tillfälligt och lokalt. Huvudsakligen en lågdynamisk till måttligt dynamisk botten
- Grövre sediment av grus, sten och block (rör sig tillfälligt och lokalt) samt berghällar. Huvudsakligen en stabil och lågdynamisk botten
- Lera och/eller silt. Rör sig tillfälligt och lokalt. Lågdynamisk botten
- Oklassad med avseende på erosionsförhållanden

#### Modellerad sedimenttransport

#### Netttransportriktning och storlek

- Gräns mellan sedimentsystem

#### Dynfotens förändring, reträtt eller tillväxt, 2007–2018

#### Avstånd (m)

- 85 till -10
- 10 till -5
- 5 till -2
- 2–0
- 0–2
- 2–5
- 5–10
- 10–182



## Norra Öresund (Höganäs och Helsingborgs kommuner)

Strand- och bottenmaterialet längs långa sträckor från Kullen till Nyhamnsläge består av ett naturligt residualmaterial med grövre fraktioner av grövre sand, grus, sten och block, se figur 3, 7A och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Hårt kristallint berg förekommer också. Strand- och bottenmaterialet är i dessa områden svårmobiliserat och mindre känsligt för erosion, och transporteras bara tillfälligt. Finkorniga sediment är ursköljda. Strand- och sedimentdynamiken är låg. Detta innebär att dessa kuststräckor är relativt stabila och har generellt en liten eller obetydlig erosion under rådande förhållanden.

Dynamiska sand- och grusstränder förekommer i buktformade kustavsnitt, exempelvis vid Lerhamn och Nyhamnsläge. På havsbotten förekommer i anslutning till dessa sand- och grusstränder områden med rörlig sand som är en del av sandtransportsystemet och kan växelverka med land, se figur 7A.

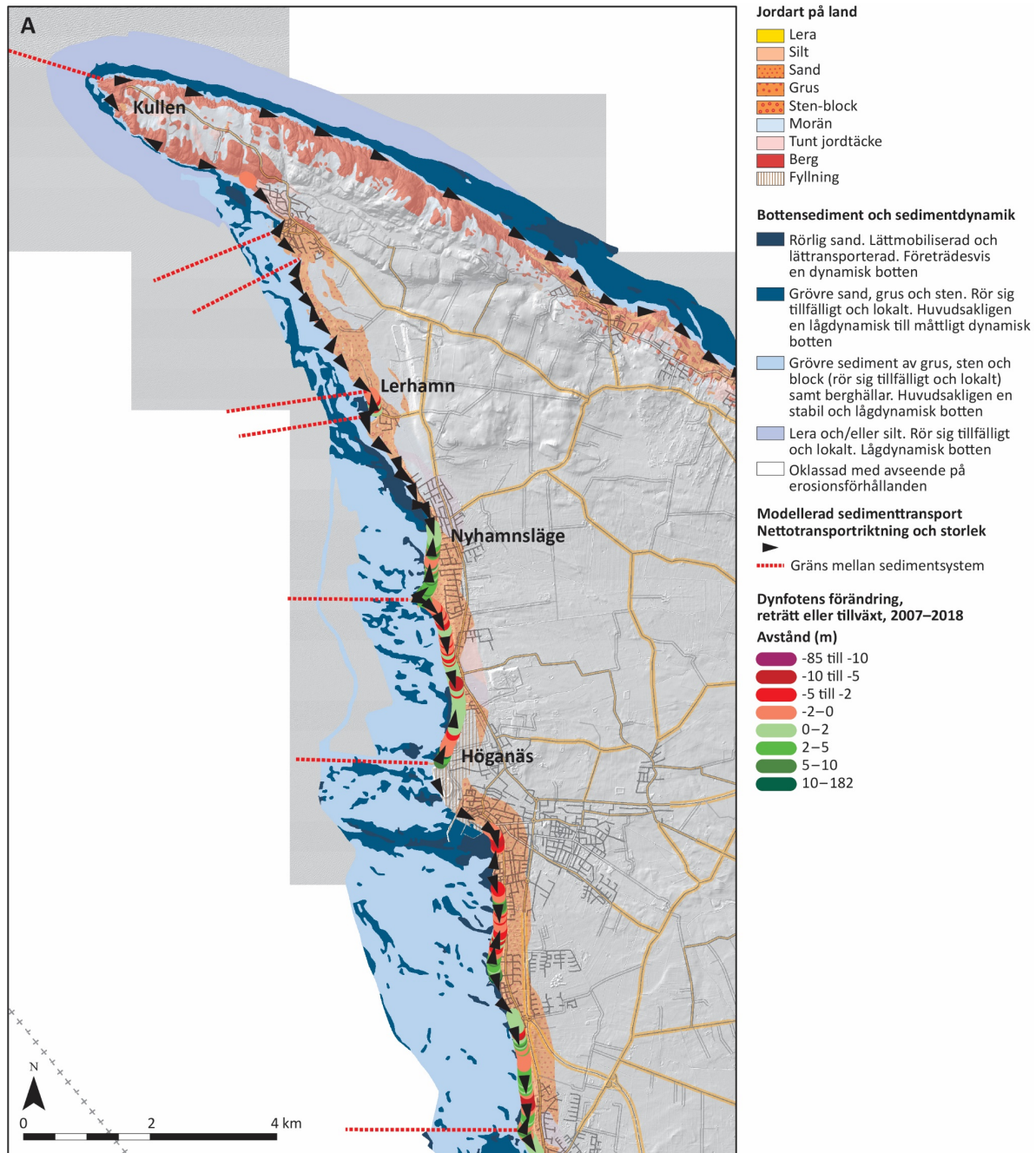
Nettosedimenttransporten är enligt våg-strömmodellen riktad söderut längs stora delar av kuststräckan från Kullen till Nyhamnsläge, och även så långt söderut som till Helsingborgs tätort, se figur 7A och B. Den modellerade transportkapaciteten är hög, men områden med lättmobiliserade sediment är förhållandevis få. Detta medför att sedimentdynamiken mestadels är låg längs kuststräckan, trots en hög modellerad transportkapacitet. Om rörlig sand tillförs kommer den mobiliseras och transporteras till sänkor eller hinder eller avtagande vattenrörelser där den deponeras och ackumulerar. Sand- och grusansamlingar finns längs de kustavsnitt som är buktformade och där även en nordlig modellerad sedimenttransport förekommer, vilket visar på en sedimenttransport från två riktningar in i bukterna. Ett bra exempel är söder om Nyhamnsläge där ackumulation av sand sker vid badplatsen. Sanden här har förmodligen sitt ursprung från den erosion som sker norr därom.

Från Nyhamnsläge till Helsingborg dominerar sand och grus på stränderna, oftast i ganska tunna lager ovanpå morän eller sedimentär berggrund. Längs ett par kustavsnitt, till exempel vid Sofiero och Kulla Gunnarstorp eroderas lös berggrund av jurassisk ålder. Denna erosion är framförallt av akut karaktär, det vill säga inträffar under förhållanden med vågor och högt vattenstånd. På den strandnära havsbotten från Nyhamnsläge till Domsten växlar ytan mellan grövre fraktioner av grus, sten samt block, som också fungerar som naturliga erosionsskydd, och rörlig sand. Större områden med förekomst av rörlig sand finns vid hamnen i Höganäs och strax söder därom samt vid Vikens badplats och hamn. Den modellerade sedimenttransporten är söderut längs kuststräckan, förutom i bukterna med ansamlad sand där även en nordgående komponent av sedimenttransport förekommer. Områdena med rörlig sand sträcker sig ned till cirka 2–5 m vattendjup, cirka 100–200 m ut från strandkanten, förutom vid Höganäs och Viken där områden med rörlig sand kan förekomma upp till någon kilometer från strandkanten.

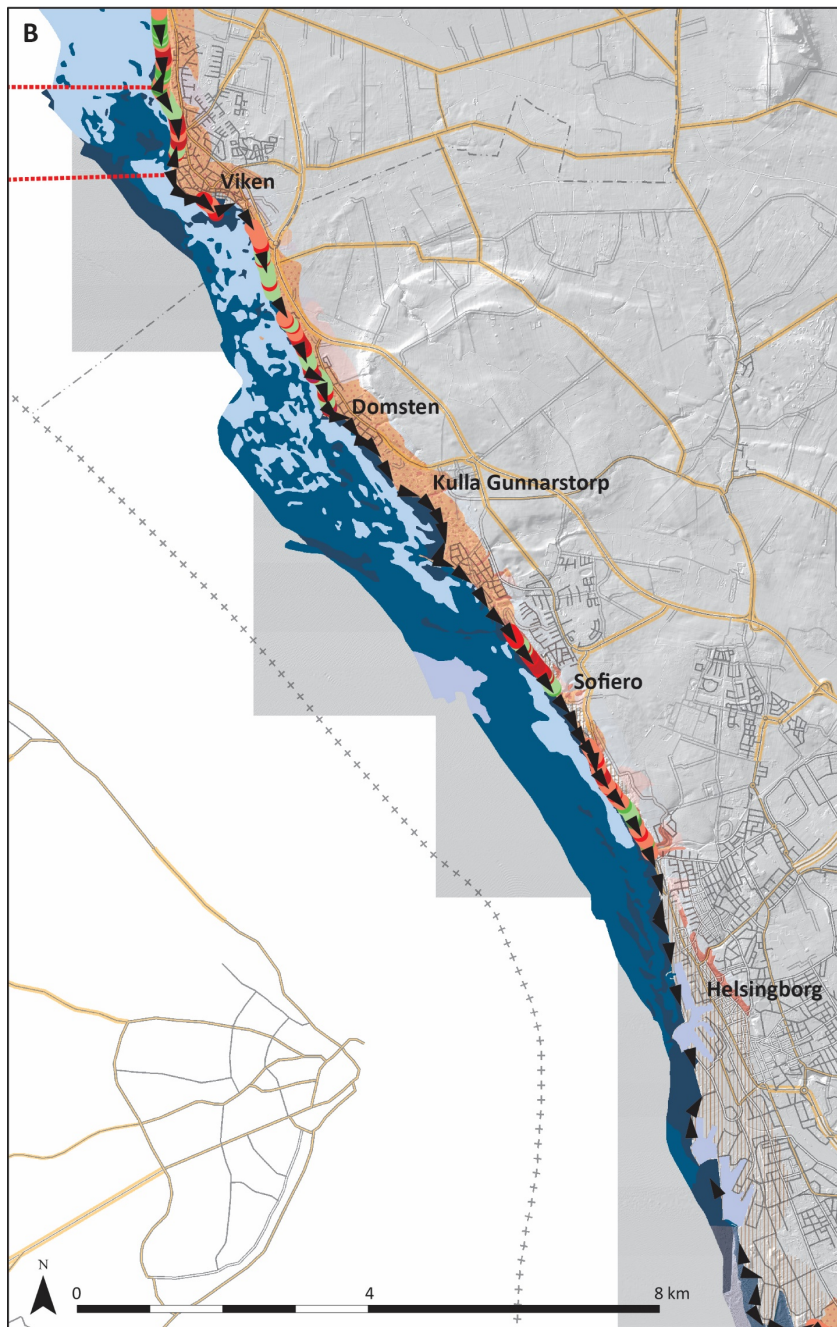
Från Domsten till Helsingborg förekommer rörlig sand längs med strandkanten som en bård längs i stort sett hela sträckan med en utbredning av cirka 100–200 m ned till ett vattendjup av cirka 2–5 m, se figur 3 och 7B. Sedimenttransporten är huvudsakligen söderut med undantag från några bukter med sand som i sydändan har en nordlig transport. En sydlig nettosandtransport är även tydlig genom att ackumulation sker på nordsidan och erosion på sydsidan av hövderna här. Dynfotens förändring längs dessa kustavsnitt visar en lite mer dominerande reträtt än tillväxt, se figur 7A och B. Områden med rörlig sand på havsbotten blir fler och en aning större mot söder till utanför Helsingborg. Detta kan tyda på att sanden som eroderas transporteras söderut och deponeras vid hinder som Helsingborgs hamn eller där bottenströmmen blir svagare.

Från Helsingborg till Rydebäck dominerar dynamiska sand- och grusstränder där vissa strandavsnitt utsätts för mer erosion än ackumulation, se figur 7B och 8A. Våg-strömmodellen indikerar att en sydlig transport av sediment dominerar, vilket också hövder med ackumulation på nordsidan och erosion på sydsidan, visar. Områden med rörlig sand förekommer från stranden ut

till cirka 100–300 m från strandkanten, där vattendjupet är cirka 2–3 m. Längre ut från stranden, där den rörliga sanden slutar, övergår botten till mindre rörliga och mer finkorniga sediment. Sandrevlar förekommer rikligt på botten med samma riktning som kusten längs stränderna ned till ett vattendjup mellan cirka 1 och 2 m, 100–300 m från strandkanten. Mellan sandrevlarna kommer grövre material upp i bottenytan. Detta tyder på en emellanåt dynamisk botten i alla fall ned till 1–3 m vattendjup, med sedimenttransport även till och från stränderna.



**Figur 7A och B (nästa sida).** Fysiska och dynamiska förhållanden i norra Öresund mellan Kullen och Viken (A) samt Viken och Helsingborg (B). Sand- och grusstränder förekommer där dynfotens förändrade läge mellan 2007 och 2018 redovisas. En förändring mindre än 2 m betraktas som osäker. Den modellerade sedimenttransporten har tagits fram med vågmodellen SWAN och visar den teoretiskt årliga nettoriktningen och nettostorleken från 1979 till 2020. Förekomsten av olika typer bottensediment och dess dynamik har inte beaktats vid modelleringen. De röda streckade linjerna markerar översiktligt gräns mellan sedimentsystem närmast land.



**Jordart på land**

- Lera
- Silt
- Sand
- Grus
- Sten-block
- Morän
- Tunt jordtäckte
- Berg
- Fyllning

**Bottensediment och sedimentdynamik**

- Rörlig sand. Lättmobiliserad och lätttransporterad. Förreträdesvis en dynamisk botten
- Grövre sand, grus och sten. Rör sig tillfälligt och lokalt. Huvudsakligen en lågdynamisk till måttligt dynamisk botten
- Grövre sediment av grus, sten och block (rör sig tillfälligt och lokalt) samt berghällar. Huvudsakligen en stabil och lågdynamisk botten
- Lera och/eller silt. Rör sig tillfälligt och lokalt. Lågdynamisk botten
- Oklassad med avseende på erosionsförhållanden

**Modellerad sedimenttransport**

**Nettotransportriktning och storlek**

- Gräns mellan sedimentsystem

**Dynfotens förändring, reträtt eller tillväxt, 2007–2018**

**Avstånd (m)**

- 85 till -10
- 10 till -5
- 5 till -2
- 2 till 0
- 0 till 2
- 2 till 5
- 5 till 10
- 10 till 182

## Mellersta Öresund (Landskronas, Kävlinges, Lommas och Burlövs kommuner)

Längs kuststräckan från Rydebäck till Hildesborg finns långa sträckor med klintar som utgörs främst av moränlera, sand, och silt, se figur 3 och 8A samt kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Erosionen sker här framförallt under förhållanden med större vågor och högre vattenstånd som stormar. Havsbotten här blir successivt djupare ned till ett vattendjup mellan 8 och 12 m där en framträdande brant kant uppträder längs kusten och vattendjupet sjunker med 2–3 m. Den rörliga sanden är relativt utbredd på havsbotten och förekommer från strandkanten ned till denna brant som ligger mellan cirka 250 och 1 000 m från strandkanten, se figur 8A. Våg-strömmodellen visar på en lite större sedimenttransport åt söder men en nordlig komponent förekommer också i bukterna längs kuststräckan. Sandrevlar förekommer rikligt på botten med samma riktning som kusten längs stränderna ned till ett vattendjup mellan cirka 1 och 3 m. Mellan sandrevlarna kommer grövre material upp i bottenytan. Detta tyder på en emellanåt dynamisk botten i alla fall ned till 1–3 m, med sedimenttransport även till och från stränderna.

### Ven

Ven omges nästan helt av klintar som utgörs av moränlera, sand, silt och glacial lera, se figur 3, 8A och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Erosionen sker framförallt under förhållanden med större vågor och högre vattenstånd som stormar. På strandplanet nedanför klintarna förekommer sträckor med dynamiskt material av sand och grus samt sträckor med mer erosionsmotståndskraftigt material av sten och block, där finare material som kommer från klintarna, blivit ursköljt och borttransporterat ut på havsbotten.

Havsbotten har runt Ven en framträdande brant kant som vid 7 till 10 m vattendjup på en relativt kort sträcka når ned till 15–20 m vattendjup. Denna kant förekommer mellan 150 och 500 m från strandkanten. Den ligger längst ifrån strandkanten på nord–nordvästra sidan av ön, se figur 8A. På denna platå förekommer områden med både rörlig sand och grövre material av grus, sten och block. Nedanför branten dominerar finare material som lera och silt. Det grövre materialet dominerar platån på nordvästra–norra sidan, och förekommer på botten närmast stranden runt en stor del av ön, förutom längs den sydvästra kusten. I dessa områden med grövre material har lera, silt och sand blivit ursköljt och borttransporterat över tid. Sedimentdynamiken verkar vara mestadels låg. Man kan dock tänka sig att under erosionshändelser så kommer finare material från klintarna på land in i sedimenttransportsystemet. Områden med rörlig sand som har liknande former som bårder förekommer också parallellt med stranden runt en stor del av ön, fast från några tiotals meter från strandkanten. I dessa områden kan en del av den sand som kommer från erosion i klintarna ha deponerats på grund av sänkor, djupare bottenar samt avtagande vattenrörelser. Sandområdenas utbredning och form, vilket är långsmalt och parallellt med stranden, pekar på en sedimenttransport tvärs stränderna.

Våg-strömmodellen visar på en dominerande kustparallell sedimenttransport mot ost och sydost på nord–nordöstra sidan av ön, mot sydost på den sydvästra sidan och mot öster och norr längs den södra och östra sidan. På väst–sydvästsidan av ön förekommer de största områdena med rörlig sand som även når in till strandkanten. Detta kan delvis bero på det relativt större sandinnehållet i klintarna här, vilket orsakar att mer sand mobiliseras, transporteras och deponeras i området under erosionshändelserna och följaktligen tillförs sedimentsystemet.

De största och flesta vågorna som träffar ön kommer från väst till nordväst, vilket orsakar en större exponeringen från denna riktning och kan vara anledningen till att det större område av grus, sten och block som förekommer på denna sida av ön har en avsaknad av finare material som lera och silt.

## Lundåkrabukten

Både strandplanet och havsbotten är i de centrala och norra delarna av Lundåkrabukten flacka. Stranden och havsbotten är uppbyggda av sand som till stor del utgörs av omlagrad isälvssand, se figur 8B och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Trots dominansen av sand har Lundåkrabukten en relativt låg sedimentdynamik nära land. Detta är tydligt då stränderna norr om Lundåkra inte är utsatta för erosion samt att det på strandplanet finns tunna lager av torv och i den norra delen av bukten även vassbälten.

Bukten ligger relativt skyddad i Öresund vilket kan innebära att den låga sedimentdynamiken nära land beror på en lägre exponering orsakad av relativt små vågor i kombination med en långgrund plataliknande botten. Platån sträcker sig som mest cirka 3 000 m ut från strandkanten i den norra delen och smalnar av söderut mot Barsebäck. Den har en bredd på cirka 800 m i den centrala delen av bukten. Vid ytterkanten av platån är vattendjupet cirka 2 m och dyker via en brant kant till cirka 5–6 m i den norra delen och till cirka 3–4 m i den södra delen av bukten. Vid denna branta kant och yttre breda platå dämpas förmodligen mycket av den energi som vågor och strömmar för med sig, vilket resulterar i en lågexponerad sand- och grusstrand och botten närmast land med relativt låg sedimentdynamik. Dämpning av energi och brytning av vågor i detta område en bit från strandkanten kan eventuellt verifieras av att här förekommer rikligt med sandrevlar på botten med samma riktning som kusten, se figur 7 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Revlarna som förekommer som en bård längs den branta kanten i ett område med en bredd av cirka 100 till 500 m, mellan cirka 0,5 och 3–4 m vattendjup, från cirka 200 m till cirka 2 000 m från strandkanten antyder att här finns den energi som krävs för att mobilisera sedimenten och orsaka en emellanåt dynamisk botten med sedimenttransport tvärs kusten en bit från strandkanten.

Längre ut i bukten, utanför platån och på djupare vatten, verkar också en lägre sedimentdynamik uppträda då gropar som förmodligen uppkommit genom sanduttag under mitten av 1900-talet fortfarande uppträder (Nyberg m.fl. 2017), se figur 8B och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*.

Stränderna i södra Lundåkrabukten samt vid de utstickande uddarna vid Barsebäckshamn och Vikhög, byggs upp av mindre dynamisk lerig morän och moränlera, ställvis överlagrade av mer dynamisk sand och grus. Lerig morän och moränlera dominerar också på havsbotten, här med överlagrande osammanhängande skikt av silt, finsand, sand, grus och sten med varierande mäktigheter, från några centimeter till några meter.

Stränderna är här huvudsakligen i balans (Malmberg Persson m.fl. 2016), men längs en sträcka norr om Barsebäckshamn sker erosion i en klint som är uppbyggd av moränlera. Erosionen sker framförallt under förhållanden med vågor och högre vattenstånd som stormar. På strandplanet nedanför klinten förekommer ett mindre dynamiskt material av grus, sten och block. Finare material, som kommer från klintarna, har blivit ursköljt och borttransporterat ut på havsbotten. Enligt våg-strömmodellen är riktningen på sedimenttransporten framförallt åt norr i den södra delen av bukten och åt söder i den norra delen. Detta tillsammans med den låga sedimentdynamiken visar på ett relativt slutet sedimentdynamikssystem.

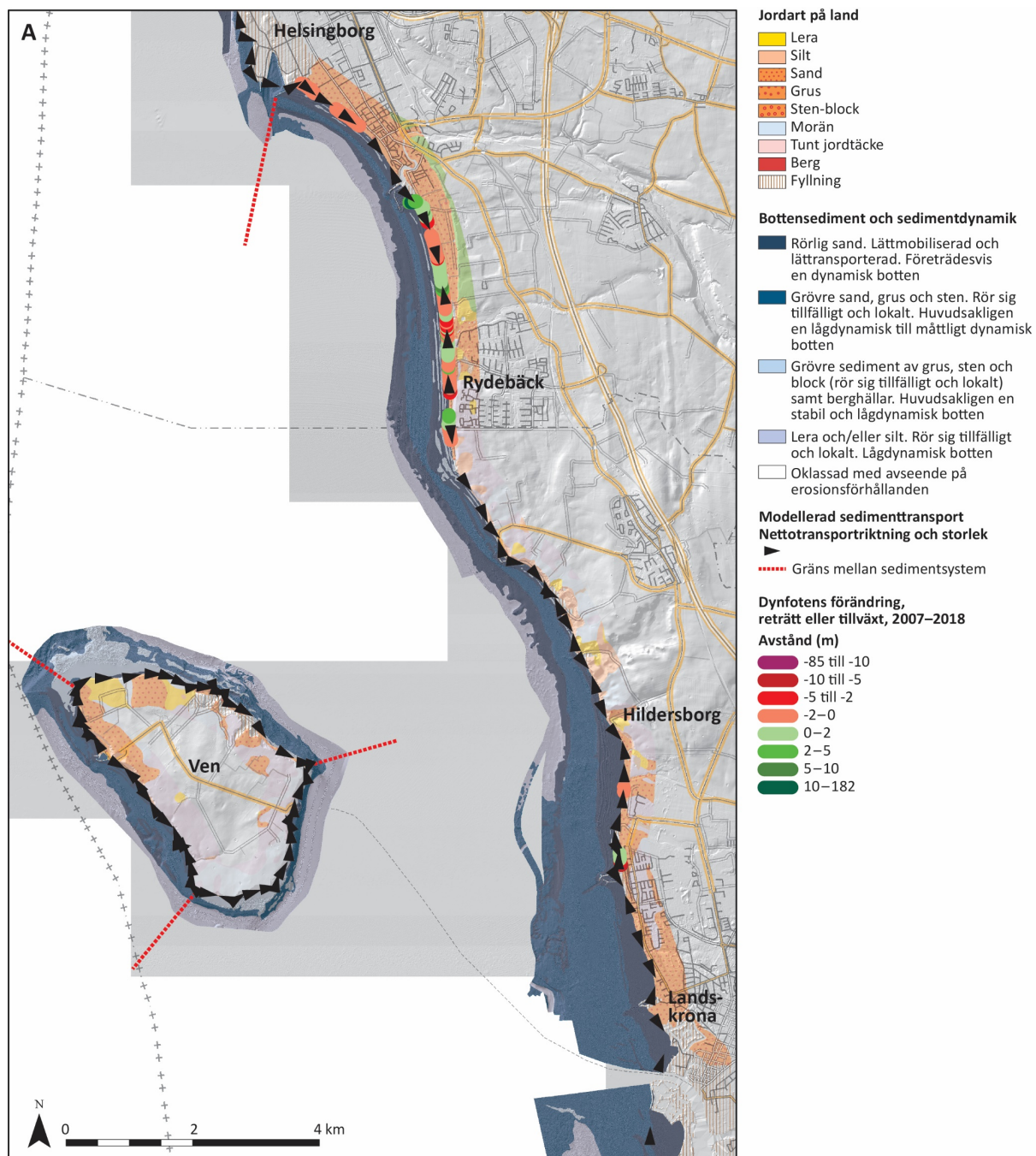
## Lommabukten

Kusten längs Lommabukten är relativt flack. I de ytliga delarna av stränderna på land dominerar rörlig sand, men denna är ofta ganska tunn och underlagras av moränlera och glacial lera se figur 8B och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Längs vissa sträckor, framför allt söder om Bjärred, är kusten utsatt för erosion, både kronisk och akut (Malmberg Persson m.fl. 2016). Där skyddas kusten av erosionsskydd av olika slag. Även på havsbotten dominerar rörlig sand. Den förekommer från strandkanten och ut till mellan 500 och 2 600 m, 4–6 m vattendjup, i den norra delen och ned till cirka 10 m i den södra delen av Lommabukten. Den rörliga sanden är relativt

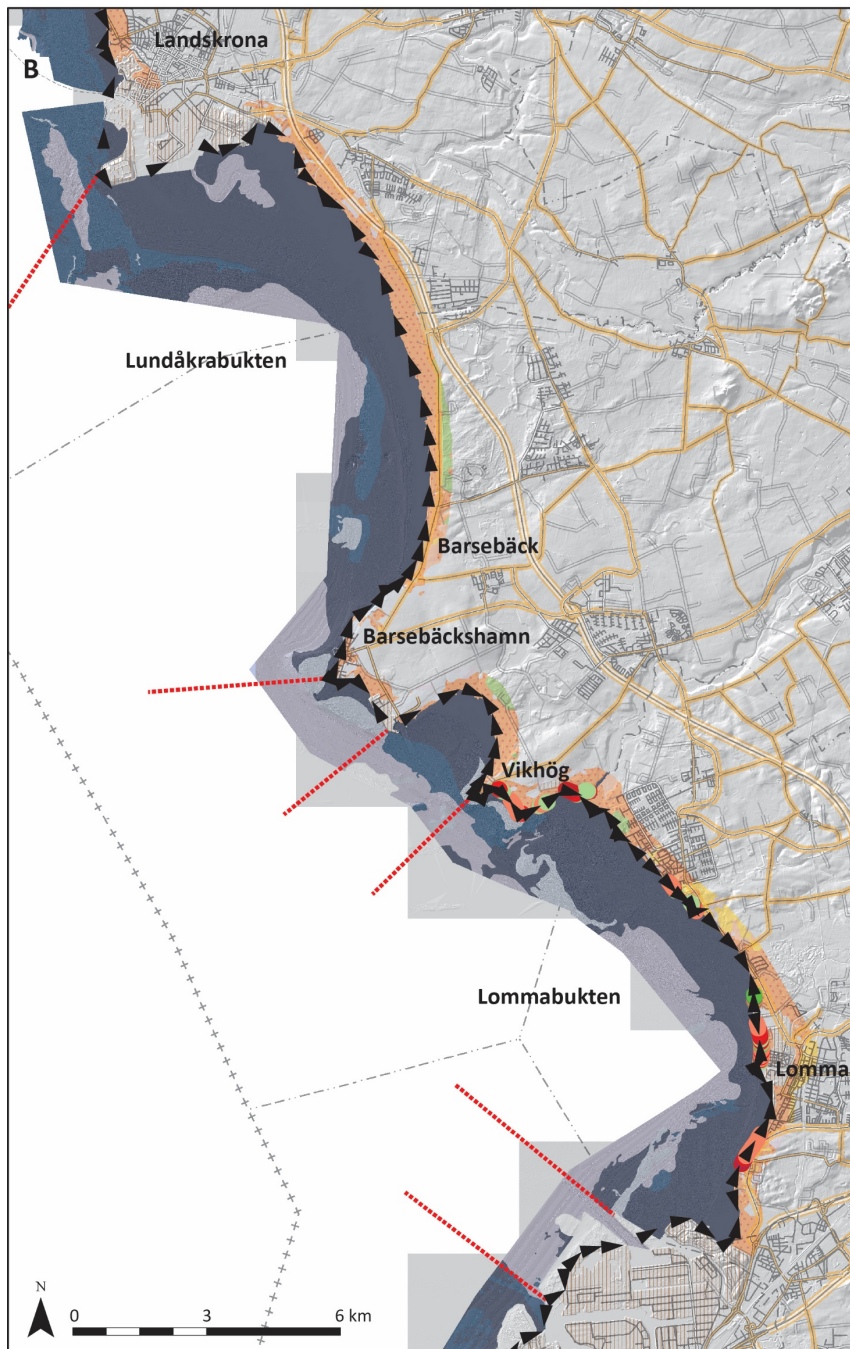
mäktig på den långgrunda botten ut till cirka 1–1,5 m vattendjup, 200–800 m från strandkanten. Här förekommer en brant där vattendjupet på en relativt kort sträcka övergår till att vara upp till 3 m. Nedanför den branten blir den rörliga sanden mindre mäktig och underlagras av moränlera. Längs denna branta kant förekommer sandrevlar rikligt på botten med samma riktning som kusten längs stränderna. Sandrevlarna tyder på en emellanåt dynamisk havsbotten med sedimenttransport tvärs kusten i dessa områden, som är lokaliserade en bit ut från stränderna och har vattendjup på mellan 1 och 3 m. Det finns tecken i utbredningen och formen av sanden, nedanför och utåt havs från sandrevlarna på 3–4 m vattendjup, att här förekommer även en sedimenttransport längs branten. Där utbredningen av sand sedan slutar utåt havs vid 4–6 m vattendjup förekommer områden där bottenytan består av grövre material som grus, sten och block eller lera och silt. Förekomsten av dessa bottensediment pekar på att i dessa områden och vattendjup rör sig sedimenten mindre vilket resulterar i en lägre sedimentdynamik.

Enligt våg-strömmodellen är riktningen på sedimenttransporten längs stranden framförallt åt söder i den norra delen av bukten, men i den södra delen sker en viss nordlig transport. Detta visar på ett relativt slutet sedimentdynamiskt system i Lommabukten. I området söder om småbåtshamnen i Lomma har under senare år ackumulation av sand skett på den strandnära havsbotten, vilket lett till en uppgrundning (Malmberg Persson m.fl. 2016). Här möts, enligt våg-strömmodellen, en sydlig och en nordlig sedimentström, vilket resulterar i ett ackumulationsområde av sand på havsbotten. Sanddynerna söder om ackumulationsområdet eroderar och kan vara en tänkbar källa till sandackumulationen, se figur 8B.





**Figur 8A och B (nästa sida).** Fysiska och dynamiska förhållanden för stränderna längs med mellersta delen av Öresund. Sand- och grusstränder förekommer där dynfotens förändrade läge mellan 2007 och 2018 redovisas. En förändring mindre än 2 m betraktas som osäker. Den modellerade sedimenttransporten har tagits fram med vågmodellen SWAN och visar den teoretiskt årliga nettoriktningen och nettostorleken från 1979 till 2020. Förekomsten av olika typer bottensediment och dess dynamik har inte beaktats vid modelleringen. De röda streckade linjerna markerar översiktligt gräns mellan sedimentsystem närmast land. Den inre delen av Lundåkrabukten (**B**) domineras av sand, men som under rådande förhållanden med en relativ låg exponering är låg till måttligt dynamisk.



#### Jordart på land

- Lera
- Silt
- Sand
- Grus
- Sten-block
- Morän
- Tunt jordtäckte
- Berg
- Fyllning

#### Bottensediment och sedimentdynamik

- Rörlig sand. Lättmobiliserad och lätttransporterad. Företrädesvis en dynamisk botten
- Grövre sand, grus och sten. Rör sig tillfälligt och lokalt. Huvudsakligen en lågdynamisk till måttligt dynamisk botten
- Grövre sediment av grus, sten och block (rör sig tillfälligt och lokalt) samt berghällar. Huvudsakligen en stabil och lågdynamisk botten
- Lera och/eller silt. Rör sig tillfälligt och lokalt. Lågdynamisk botten
- Oklassad med avseende på erosionsförhållanden

#### Modellerad sedimenttransport

##### Netttransportriktning och storlek

- Gräns mellan sedimentsystem

#### Dynfotens förändring, reträtt eller tillväxt, 2007–2018

- Avstånd (m)
- 85 till -10
  - 10 till -5
  - 5 till -2
  - 2 till 0
  - 0 till 2
  - 2 till 5
  - 5 till 10
  - 10 till 182



## Södra Öresund (Malmös och Vellinges kommuner)

### Malmö

Kusten söder om Malmö, från brofästet till Foteviken, är flack och utgörs huvudsakligen av betade strandängar. Den flacka kustremsan har en lutning på mellan 0,2 och 0,5 grader. Även havsbotten utanför är mycket flack med ett vattendjup på endast 2 m så långt ut i Öresund som 3,5–4 km från stranden (Malmberg Persson m.fl. 2016), se figur 9 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*.

I havsbottenytan dominerar potentiellt rörlig sand med stor utbredning och mäktigheter från någon decimeter upp till två meter, ovanpå morän eller berggrund. Trots dominansen av potentiell rörlig sand närmast land är sedimentdynamiken låg här. I terrängmodellerna syns tydligt att sandrevlar och sandvågor förekommer fram till cirka 400 till 1 500 m från strandlinjen, på vattendjup mellan cirka 0,5 och 2 m, vilket indikerar att sedimenten på havsbotten framför allt är rörliga hit med en minskad rörlighet in mot stranden. Detta tyder på en emellanåt dynamisk botten i dessa bottenområden en bit från strandkanten med sedimenttransport till och från.

På strandplanet ligger ett upp till två meter mäktigt lager av moränlera ovanpå berggrunden, som utgörs av kalksten. Närmast strandlinjen täcks moränleran på många håll av marsktorv, det vill säga lager av omväxlande sand och torv. Den mycket flacka terrängen gör området till en lågenergikust, där vågorna bryter långt utanför stranden och ingen nämnvärd erosion äger rum. Istället sker en viss ackumulation av sand (Malmberg Persson m.fl. 2016, Daniel 2006). Detta stöds av att våg-strömmodellen visar en svag sedimenttransport både åt norr och söder. Att stranden är mycket skyddad visar också förekomsten av vassvegetation längs stranden.

### Falsterbo

Falsterbohalvön är uppbyggd kring tre kärnor av moränlera, som bland annat pålagrats med sand från havsbotten från olika ström- och vågriktningar (Malmberg Persson m.fl. 2016). I stort sett tycks Falsterbohalvön fortfarande växa. Stränderna domineras av sand och grus och sanden om-lagras delvis av vinden till flygsand som bildar dyner, främst längs Nässets södra del, se figur 8 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*.

Längs vissa sträckor, exempelvis västra sidan av Måkläppen och norr om Skanör hamn, retirerar sanddynerna och stranden utsätts för erosion och längs vissa sträckor för tillväxt samt omväxlande tillväxt och erosion, se figur 9 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Stränderna intar här en ny orientering.

Den huvudsakliga tillväxten sker på halvöns västsida, där strandsporrar bildats och växt till successivt. På västsidan av halvön sker på havsbotten en nettotransport av sand norrut. Detta visas av både våg-strömmodellen och transportmönster i den rörliga sanden. Rörlig sand förekommer rikligt längs med strandkanten och cirka 200–300 m ut ned till cirka 3–4 m vattendjup. Längre ut, åtminstone cirka 1 500 m från strandkant och ned till cirka 7–8 m vattendjup förekommer även fläckvist sand som är rörlig och visar på transportmönster med nordlig riktning. Mellan sandförekomsterna sticker morän upp med grövre, mindre rörligt residualmaterial av grus och sten i bottenytan. Sandrevlar förekommer närmre stranden längs med kusten som visar på sedimenttransport till och från strandkanten.

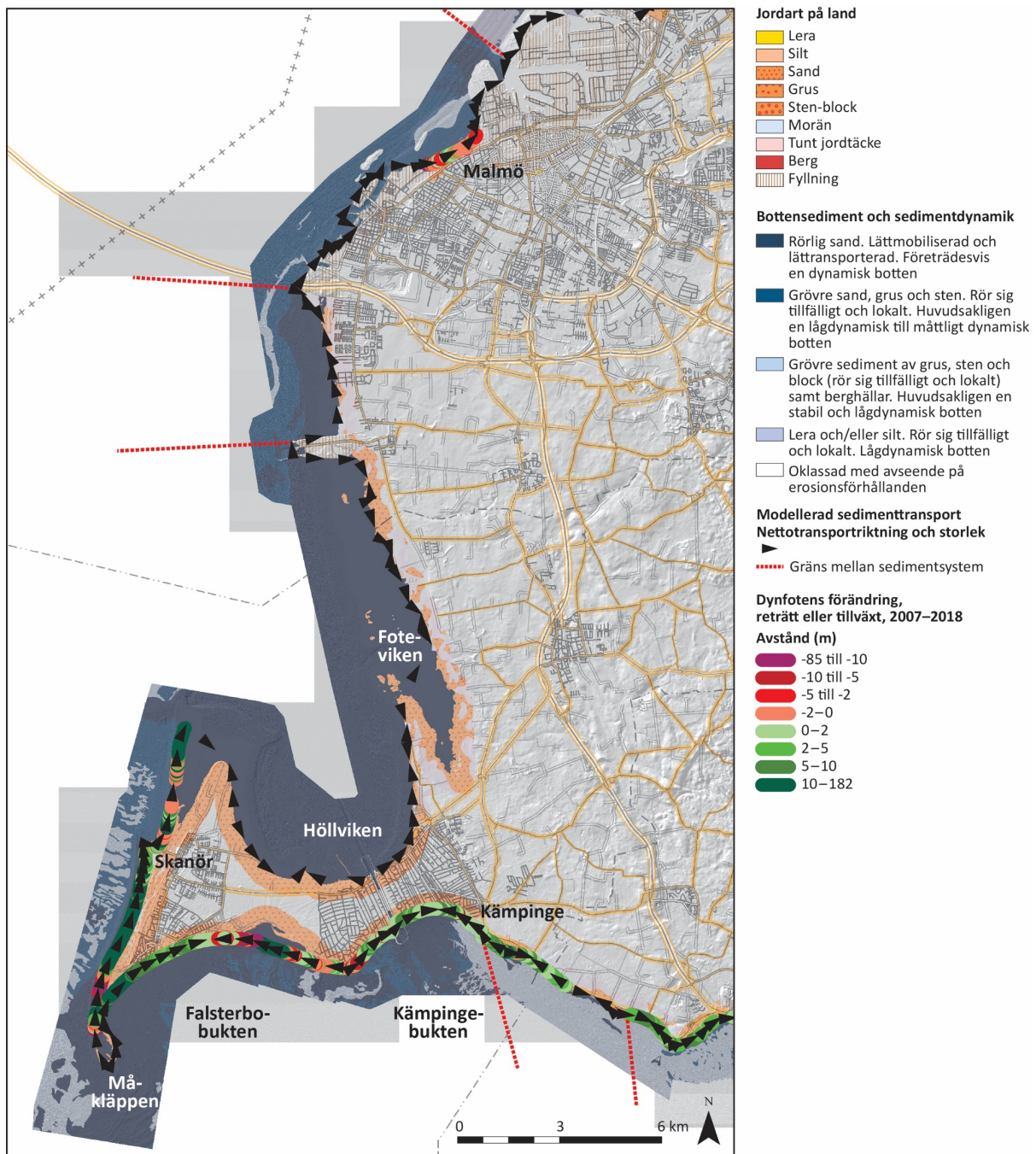
Norr om halvön förekommer en stor utbredning av potentiell rörlig sand. Trots denna dominans verkar sedimentdynamiken vara relativt låg här. Sanden förekommer åtminstone cirka 2 000–2 500 m ut från strandkanten och ned till cirka 5 m vattendjup. Utbredning av ålgräsängar visar på en relativt låg sedimentdynamik. Våg-strömmodellen visar på en transport in i Höllviken från västsidan av halvön. Det tillsammans med utbredningen av rörlig sand och tillväxten av

strandsporren norr om Skanör kan peka på en avsättning över tid i Höllviken av sand transporterad från söder längs med halvöns västkust.

Måkläppen är en sandrevel som skiftar form och läge med åren. Den har växt till sig under 2000-talet och flyttat flera hundra meter mot nordost med formen relativt intakt. En jämförelse mellan flygfoton från 2007 och 2018 visar att sanddyner retirerar och eroderas i väster och växer till i öster snabbare än den eroderas i väster, se figur 9 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Vågströmmodellen visar på en viss nordlig transport av sand på längs med västsidan och en lite större nordlig transport på östsidan av Måkläppen.

Det förekommer rikligt med rörlig sand på havsbotten söder om halvön med störst förekomst i den västra delen av Falsterbobukten åtminstone cirka 1 500–2 000 m och ned till 4 m vattendjup. I Kämpingebukten förekommer också på havsbotten en riklig utbredning söderut av rörlig sand, åtminstone cirka 2 500 m ut från strandkant och ned till cirka 9 m vattendjup. Här uppträder även en relativt skarp östlig och västlig gräns mellan rörlig sand på västsidan och grövre, mindre rörligt material på östsidan. Österut längs med den skånska sydkusten är sandförekomsten sedan relativt liten fram till området utanför Sandhammaren. Sandförekomsten är som störst söder om Falsterbohalvön tillsammans med området utanför Sandhammaren längs den skånska sydkusten.

Enligt vågströmmodellen är riktningen på sedimenttransport från två håll längs stranden in mot mitten av både Falsterbobukten och Kämpingebukten. Tillsammans med dyntillväxten tyder det på en nettotransport in i bukten där sand ackumuleras.



**Figur 9.** Fysiska och dynamiska förhållanden för stränderna längs med södra delen av Öresund och Falsterbonäset. Sand- och grusstränder förekommer där dynfotens förändrade läge mellan 2007 och 2018 redovisas. En förändring mindre än 2 m betraktas som osäker. Den modellerade sedimenttransporten har tagits fram med vågmodellen SWAN och visar den teoretiskt årliga nettoriktningen och nettostorleken från 1979 till 2020. Förekomsten av olika typer bottensediment och dess dynamik har inte beaktats vid modelleringen. De röda streckade linjerna markerar översiktligt gräns mellan sedimentsystem närmast land. Den inre delen av Foteviken domineras av sand, men som under rådande förhållanden med en relativ låg exponering är låg till måttligt dynamisk.

## Sydkusten (Vellinge, Trelleborgs, Skurups och Ystads kommuner)

### Kämpinge–Trelleborg

Nästan hela denna kuststräcka domineras av dynamiska sand- och grusstränder med växelvis erosion och ackumulation (Malmberg Persson m.fl. 2016), se figur 10 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Förekomst av den rörliga sanden på havsbotten som är en del av sand-transportsystemet och interagerar med stranden på land har en relativt liten utbredning från strandkanten ned till mellan 1 och 3 m vattendjup, det vill säga en sträcka som längst cirka 250 m från strandkanten. Områdena med rörlig sand når inte ned till teoretiskt beräknat konvergensdjup, vilket är cirka 5 till 6,5 m, för kustavsnittet (Fredriksson m.fl. 2017). Detta ger en relativt liten sandmängd som interagerar mellan land och hav. Djupare och längre ut från kusten domineras bottenytan av morän och sedimentär berggrund som utgörs av svärmobiliserade större partiklar såsom grus, sten och block som inte ofta är i rörelse och därför inte interagerar med stranden på land.

Dynfoten har vuxit till längs med nästan hela sträckan från Kämpinge till Trelleborg mellan 2007 och 2018. Från Kämpinge österut till Skåre hamn indikerar den bårdliknande och förhållandevis mindre sandförekomsten, tillsammans med den modellerade kustparallella transporten, att det kan förekomma transport mellan bukterna, men att transport här huvudsakligen sker tvärs stränderna. Den modellerade kustparallella sedimenttransporten är relativt jämnt fördelad mellan öst och väst väster om hamnen och därför styrker en huvudsaklig transport in och ut från land.

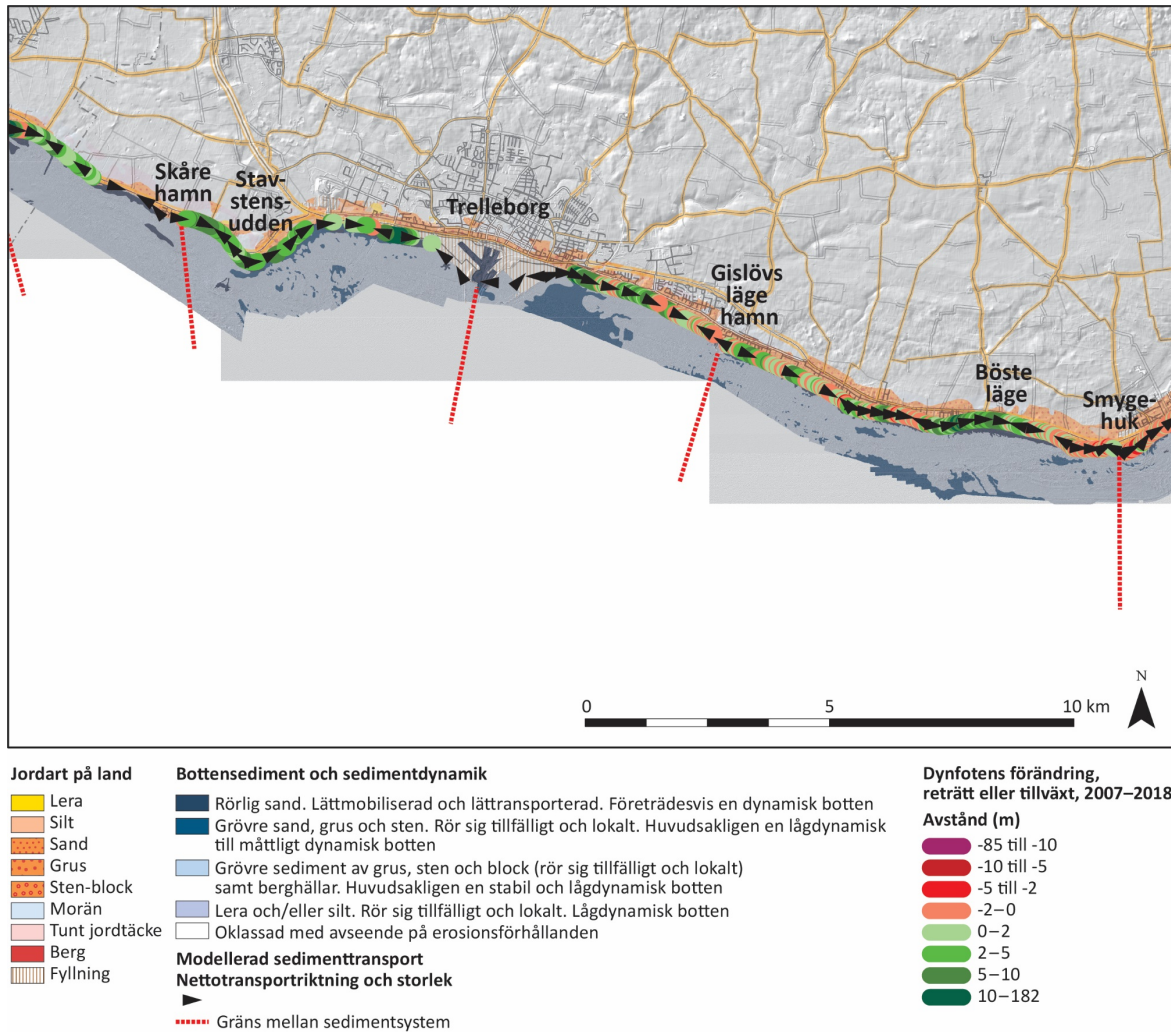
I bukten öster om Skåre hamn ned till Stavstensudde ökar utbredningen av rörlig sand på botten och förekommer även utanför udden, vilket indikerar en rörelse österut och transport in i bukten väster om Trelleborg. Här förekommer också enligt våg-strömmodellen en övervägande kustparallell transport mot öst vilket styrker en nettotransport av sand mot öst. Längs denna kuststräcka har också dynfoten vuxit till mellan 2007 och 2018. I bukten väster om Trelleborg ökar förekomsten av rörlig sand vilket tyder på att en ackumulation av sand sker här över tid. Detta kan bero på att den kustparallella transportkapaciteten österut blir svagare med en västlig komponent vid Trelleborgs hamn som också hindrar en del av transporten österut.

### Trelleborg–Smygehuk

Nästan hela denna kuststräcka domineras av dynamiska sand- eller grusstränder med växelvis erosion och ackumulation. Områden med rörlig sand på havsbotten som interagerar med stranden har en relativt liten utbredning från strandkanten ned till mellan 1 och 3 m vattendjup, en sträcka som längst är cirka 250 m från strandkanten, se figur 10 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Områden med rörlig sand når inte ned till teoretiskt beräknat konvergensdjup vilket är cirka 6 till 6,5 m, för kustavsnittet (Fredriksson m.fl. 2017). Detta ger en relativt liten sandmängd som interagerar mellan land och hav. Längs hela denna kuststräcka domineras enligt våg- och strömmodellen en östlig kustparallell transport, vilket med stor sannolikhet ger en nettotransport av sand mot öst. Gislövs läges hamn kan stoppa en del av den kustparallella transporten, något som avsaknaden av sammanhängande områden med rörlig sand på utsidan av hamnen eventuellt visar. Bottenområdet utanför hamnen består av svärmobiliserat material av grus och sten. Mellan Trelleborg och Gislövs läge kan därför ett relativt slutet system förekomma. Därefter förekommer sand sammanhängande längs hela kusten med en ökande utbredning österut, vilket tillsammans med våg-strömmodellen styrker en östlig kusttransport ned till de centrala delarna av bukten i Böste läge.

I bukten i Böste läge förekommer en tillväxt av dynfoten i de västra och centrala delarna och en relativt stor utbredning av sand på havsbotten i hela bukten, se figur 10 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Detta kan innebära att nettosandtransporten österut avstannar här med resultatet att sanden ackumulerar. Den modellerade kustparallella transporten österut

sammanfaller med en transport västerut vid området där dynfoten har en stor tillväxt ungefär i mitten av bukten. I den östra delen av bukten eroderar dynfoten mer än växer till, vilket kan innebära att sand här eroderas, transporteras västerut och ackumuleras i de centrala delarna tillsammans med sanden som kommer västerifrån. Detta indikerar också att kuststräckan från Gislövs läge till de centrala–östra delarna av bukten i Böste läge är mer eller mindre ett slutet sedimentdynamiskt system.



**Figur 10.** Fysiska och dynamiska förhållanden för stränderna längs med sydkusten från Kämpinge till Smygehuk. Sand- och grusstränder förekommer där dynfotens förändrade läge mellan 2007 och 2018 redovisas. En förändring mindre än 2 m betraktas som osäker. Den modellerade sedimenttransporten har tagits fram med vågmodellen SWAN och visar den teoretiskt årliga nettoringningen och nettostorleken från 1979 till 2020. Förekomsten av olika typer bottensediment och dess dynamik har inte beaktats vid modelleringen. De röda streckade linjerna markerar översiktligt gräns mellan sedimentsystem närmast land.



## Smygehuk–Ystad

Kuststräckan domineras av sand- och grusstränder (Malmberg Persson m.fl. 2016). Längs kuststräckan förekommer fyra större bukter med sammanhängande områden av sand på havsbotten. Kustavsnitt med mer erosionståligt material av sten, grus och block samt även klintar förekommer dock också, framförallt i områdena mellan buktarna, se figur 3, 11 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*.

I bukten vid Smygehamn förekommer en tillväxt av dynfoten i de centrala och nordöstra delarna som sammanfaller med ett lite större område av sand på havsbotten. Detta sandområde på botten förekommer även direkt i strandkanten längs med tillväxten av dynfoten och ökar i utbredning österut hit, se figur 11. Detta kan innebära att en nettotransport av sand sker från öster som delvis avstannar här med resultatet att sanden ackumulerar både på land och botten i detta område. Områden med sand i denna bukt sträcker sig här från strandkanten och cirka 200–300 m ut, ned till cirka 2–4 m vattendjup. Dessa områden når inte ned till teoretiskt beräknat konvergensdjup, vilket är cirka 6 till 6,5 m, för kustavsnittet (Fredriksson m.fl. 2017). Detta ger en relativt liten sandmängd som då kan interagera mellan land och hav. Våg-strömmodellen visar också en dominerande kustparallell transport mot öst här som sammanfaller med en svag modellerad transport västerut strax öster om detta område, vilket kan tyda på en sandtransport hit från två riktningar.

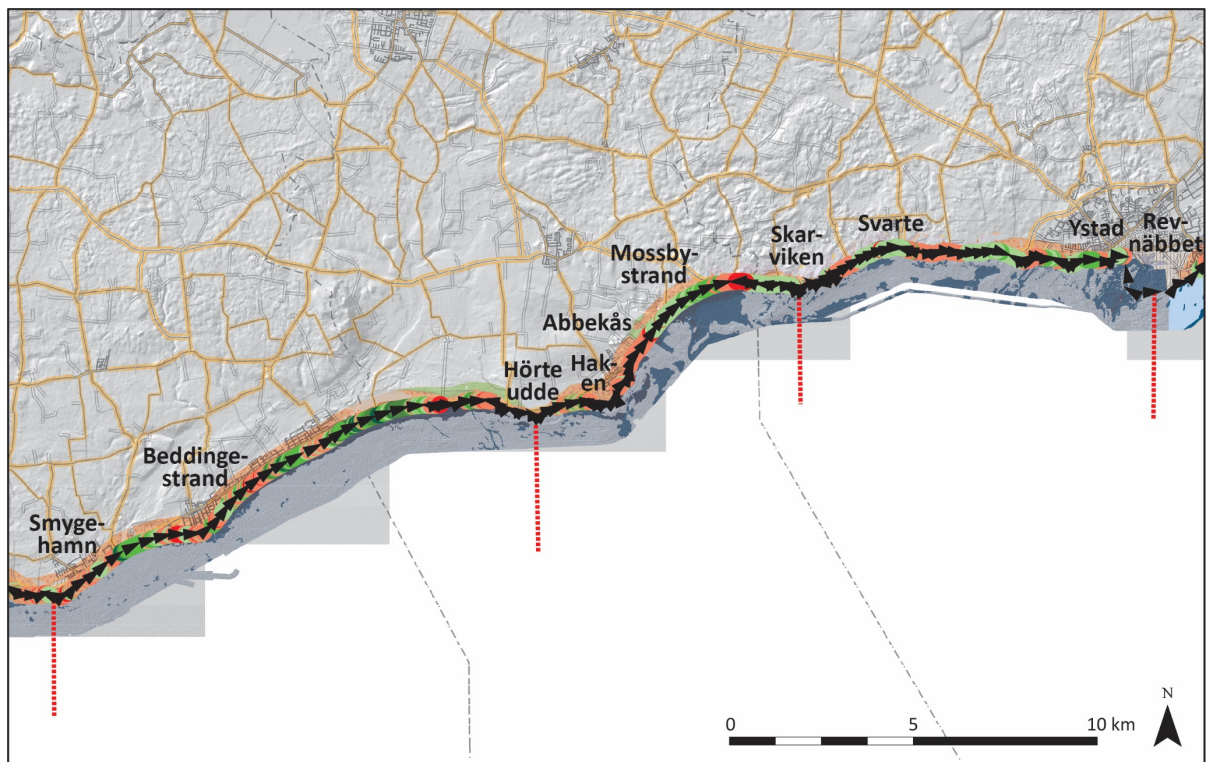
Mellan de två buktarna, vid Smygehamn och Beddinge strand, dominerar grövre svårmobiliserat material på havsbotten närmast land. Det finns dock ett mindre, mer eller mindre sammanhängande område med sand en bit från strandkanten. Denna förekomst, vilket tillsammans med den modellerade kustparallella transporten, kan tyda på att en viss sandtransport sker mot öst mellan buktarna över tid.

I den södra delen av bukten vid Beddinge strand har en märkbar erosion och reträtt av strandlinjen förekommit samtidigt som en märkbar tillväxt av strandlinjen förekommit i mitten samt den norra delen sedan 1940-talet (Malmberg Persson m.fl. 2016). Samma mönster ses i dynfotens förändring mellan 2007 och 2018, se figur 11 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Detta kan tyda på att sanden som eroderar i de södra delarna av bukten nettotransporteras åt nordost längs stranden över tid för att sedan ackumulera. Den största utbredningen av sand på havsbotten sammanfaller med den största tillväxten av dyner på land. Våg- och strömmodellen visar också en dominerande kustparallell transport österut som sammanfaller med en svag modellerad transport västerut. Transportriktningarna sammanfaller strax öster om ackumulationsområdet, vilket kan peka på en sandtransport hit från två riktningar i havet. Områden med rörlig sand i denna bukt sträcker sig från strandkant och cirka 200–300 m ut, ned till cirka 2–4 m vattendjup. Dessa områden når inte ned till teoretiskt beräknat konvergensdjup, vilket är cirka 6 till 6,5 m, för kustavsnittet.

Vid Haken och Hörte Udde, mellan buktarna Beddinge- och Mossbystrand, dominerar svårmobiliserat material av grus, sten och block på havsbotten. Detta material förekommer i grundare bottenområden utskjutande från land. Svårmobiliserat material förekommer även på land längs några strandavsnitt. Områden med rörlig sand förekommer men är få och osammanhängande och lokaliserade i djupare områden mellan de grundare områdena. Det verkar som att de grundare områdena med grövre material hindrar den kustparallella transporten, som enligt våg-strömmodellen ska dominera mot ost–nordost, men även för kortare kustavsnitt ha en kustparallell transport mot syd–sydväst. Sandområdena är lokaliserade, en bit från land, i djupare områden som svackor och rännor mellan de naturligt grundare områdena som då fungerar som batymetriska barriärer. Detta tyder på att en transport sker inom de förhållandevis djupare områdena, belägna och formade med riktning efter havsbottens morfologi, där sand redan är avsatt och förekommer. Detta kan innebära att sandtransporten mellan buktarna Beddinge- och Mossbystrand är obefintlig eller av en liten omfattning i havet.

Dynamiska sand- och grusstränder förekommer längs hela bukten från Abbekås och norrut förbi Mossbystrand. Strandlinjen i bukten har inte förändrats nämnvärt sedan 1970-talet (Malmberg Persson m.fl. 2016), men dynfoten visar en svag tillbakagång och erosion i hela bukten mellan 2007 och 2018, se figur 11 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Sandområden på havsbotten blir större från både norr och söder centralt in mot bukten vid Mossbystrand. Till skillnad från de andra buktarna längs kustavsnittet förekommer sandområden sammanhängande och fläckvist centralt i denna bukt kontinuerligt ned till cirka 10–12 m vattendjup, cirka 1 km vinkelrätt ut från land. Sandområdenas förekomst i bukten verkar vara belägna i förhållandevis djupare områden omgärdade av grundare områden med grövre material i bottenytan. Våg-strömmodellen visar på en nordlig sedimenttransport i den södra delen och en sydlig i den norra och som sammanstrålar där sandområdena har störst utbredning. Detta tillsammans med observerade batymetriska barriärer och sandområdenas förekomst pekar på en viss transport av den sand som eroderar kustparallellt in mot den centrala delen av bukten, men även tvärs stranden inom de förhållandevis djupare sandområdena, belägna och formade i riktning efter havsbottens morfologi.

Området från Skarviken till Ystad kan betraktas som en större bukt. Inom denna förekommer mindre bukter, framförallt från Svarte till Ystads hamn, se figur 11 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Kuststräckan domineras av dynamiska sand- och grusstränder, men strandområden förekommer också med klint och svärmobiliserat grövre material på strandplanet, som vid Skarviken där två större bukter är separerade (Malmberg Persson m.fl. 2016). På havsbotten i området dominerar grövre svärmobiliserat material. Förekomst av rörlig sand är liten på botten, men finns strandnära i de mindre buktarna mellan Svarte och Ystad med en utbredning av cirka 200–300 m ut ned till cirka 2–4 m vattendjup. En förhållandevis större förekomst av rörlig sand påträffas väster och söder om Ystads hamn. Den förekommer också fläckvist och sporadiskt längre ut från stranden och verkar ansamlas och förekomma i förhållandevis djupare områden formade av havsbottens morfologi, omgärdade av grundare områden med grövre svärmobiliserat material. Sandtillgång och förekomst når inte ned till teoretiskt beräknat konvergensdjup för kustavsnittet, vilket är cirka 6 till 6,5 m. Detta ger en relativt liten sandmängd som interagerar mellan land och hav. Dynfoten längs hela sträckan ger tecken på en svag tillbakagång och erosion. Våg-strömmodellen visar på en dominerande östlig kustparallell transport vilket även sandområdets större förekomst gör på västsidan av utskjutande uddar och grundområden, samt Ystads hamn. Hamnutbyggnaden tillsammans med den naturligt grundare moränbotten av grövre svärmobiliserat material som förekommer ut från Revnäppet, öster om Ystads hamn, hindrar transport österut.



**Figur 11.** Fysiska och dynamiska förhållanden för stränderna längs med sydkusten från Smygehuk till Ystad. Sand- och grusstränder förekommer där dynfotens förändrade läge mellan 2007 och 2018 redovisas. En förändring mindre än 2 m betraktas som osäker. Den modellerade sedimenttransporten har tagits fram med vågmodellen SWAN och visar den teoretiskt årliga nettoringningen och nettostorleken från 1979 till 2020. Förekomsten av olika typer bottensediment och dess dynamik har inte beaktats vid modelleringen. De röda streckade linjerna markerar översiktligt gräns mellan sedimentsystem närmast land.



## Ystad–Kåseberga

Dynamiska sand- och grusstränder dominerar i bukten från Ystad till Kåseberga (Malmberg Persson m.fl. 2016) se figur 3, 12 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. I de västra och centrala delarna av bukten vid Ystads Sandskog är stranden måttligt till betydande eroderande och på kustremsan ned till strax norr om Kåseberga växelsvis eroderande och ackumulerande (Malmberg Persson m.fl. 2016). Mot Kåseberga, i den sydöstra delen av bukten, förekommer klint med en strandplåtå av ett emellanåt grövre svärmobiliserat material av grus, sten och block. På havsbotten förekommer ett område med rörlig sand som en bård med en bredd av mellan cirka 100 och 300 m, till cirka 2–4 m vattendjup, längs buktens strand. Vid Ystads Sandskog förekommer även sandområden från stranden, sammanhängande och fläckvis, åtminstone 1 km ut på havsbotten och ned till cirka 10 m vattendjup. I övriga bottenområden dominerar ett mer svärmobiliserat material av grus, sten och block. Sandområdenas förekomst i den centrala delen av bukten vid Ystads Sandskog verkar vara påverkade av havsbottens morfologi och är belägna i förhållandevis djupare områden omgärdade av grundare områden med grövre material i bottenytan. Våg-strömmodellen visar på en dominerande östlig kustparallell sedimenttransport för hela bukten. Detta tillsammans med sandområdenas förekomst på havsbotten pekar på att den sand som eroderar vid Ystads Sandskog transporteras på havsbotten kustparallellt österut och tvärs stranden ut mot den centrala delen av bukten inom förhållandevis djupare områden, belägna och formade med riktning efter havsbottens morfologi.

Sandtillgång och förekomst når ibland, men oftast inte, ned till teoretiskt beräknat konvergensdjup för detta kustavsnitt, vilket ska vara cirka 6 m (Fredriksson m.fl. 2017).

## Kåseberga–Sandhammaren

Vid Kåseberga förekommer klintstränder med en strandplåtå av ett emellanåt grövre svärmobiliserat material av grus, sten och block. Vid Löderup övergår stranden till att domineras av sand- och grusstränder fram till och förbi Sandhammaren, se figur 3, 12 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Stränderna från Kåseberga österut till Sandhammaren utsätts för både en akut och kronisk erosion av olika omfattning. Den mest påtagliga erosionen sker i samband med högvatten och stormar, så kallad akut erosion, vilka ofta inträffar under vintern. Stranden vid Sandhammaren har en betydande nettotillväxt. Längs kuststräckan dominerar, enligt vågströmmodellen, en kustparallell ström åt öst fram till Sandhammaren där den sammanstrålar med en motsatt kustparallell ström i ett område med stor sandförekomst både på land och i hav. Detta tillsammans med att sandförekomsten ökar från Löderups strandbad österut indikerar en kraftig nettotransport mot öst till Sandhammaren, där sanden ackumulerar, se figur 12 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Förekomsten av rörlig sand väster om och vid Kåseberga och Löderup är relativt låg, vilket innebär att inte mycket sand kan tillföras västerifrån. En kraftig nettotransport österut och ett begränsat sedimentinflöde västerifrån resulterar i en negativ sandbudget kring Löderup. Öster om Löderup ökar däremot förekomsten av rörlig sand på havsbotten till åtminstone 1 000–1 500 m ut från kustlinjen och ned till åtminstone cirka 10 m vattendjup. Sandtillgång och förekomst når för stora områden här ned till teoretiskt beräknat konvergensdjup för kustavsnittet, vilket är cirka 7 m. Detta ger en stor sandmängd som kan interagera mellan land och hav vid Sandhammaren.

Den dominerande vindriktningen från väst och sydväst gör också att stora mängder sand transporteras med vinden österut och avsätts som vidsträckt flygsandfält med dyner innanför strandplanet vid Sandhammaren. Sandhammaren präglas för närvarande av pålagring av sand men perioder av stark erosion har också förekommit (Åhman 1980). De historiska strandlinjerna från ortofoton som kan ses i kartvisare *Stranderosion och geologi, kust* visar till exempel att strandlinjen 1970 låg innanför strandlinjen 1950. Den nuvarande situationen kan därför komma att ändra sig i framtiden och tillväxten kan komma att avlösas av erosion.



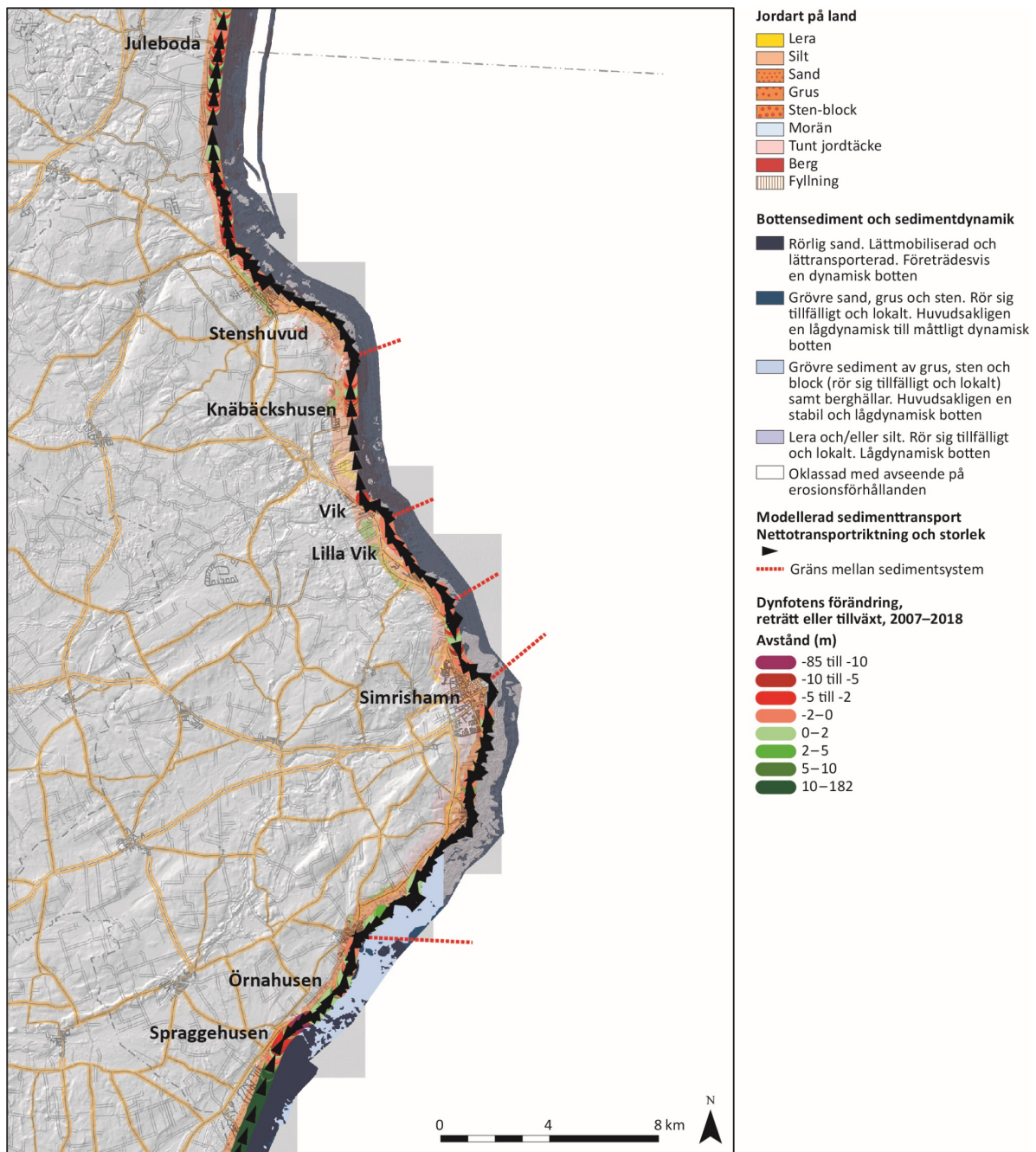
## Södra östkusten (Simrishamns kommun)

Denna kuststräcka har stora variationer av såväl strandmaterial med tillhörande dynamik som erosionsförhållanden, se figur 3, 13 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. Här finns mycket stabila strandpartier av hårt berg, såsom granit vid Stenshuvud och kambrisk sandsten vid till exempel Simrishamn som skyddar från erosion (Malmberg Persson m.fl. 2016). Dessutom förekommer strandavsnitt med ett naturligt svårmobiliserat material av grus, sten och block, som också är motståndskraftigt mot erosion. Det finns även långa partier som utgörs av sand- och grusstränder, vilka här kan vara mindre dynamiska och relativt stabila. En lång sträcka med erosion i en klint, mellan Knäbäckshusen och Vik, uppbyggd av issjösediment med lera, silt och sand sker dock, framförallt under förhållanden med högre vattenstånd och större vågor. Strandplatan består här av ett emellanåt grövre svårmobiliserat material av grus, sten och block. Dynamiska sand- och grusstränder förekommer söderut från Örnahusen-Spraggehusen mot Sandhammaren samt norr om Simrishamns tätort, Lilla Vik och norr om Vik.

Den strandnära havsbotten längs med stora delar av kuststräckan består också till stora delar av berg eller ett residualmaterial med grövre fraktioner av svårmobiliserad grövre sand, grus, sten och block, som är motståndskraftiga mot erosion. Finkorniga sediment är i dessa områden ursköljda. Sedimentdynamiken i dessa områden är låg. Detta innebär att dessa kuststräckor är relativt stabila och har generellt en liten eller obetydlig erosion under dagens förhållanden.

Där lätttrörlig sand och grus förekommer på land förekommer även strandnära lätttrörlig sand på botten. Längs kusten från Örnahusen-Spraggehusen mot Sandhammaren dominerar en sydlig kustparallell transport, enligt våg-strömmodellen. Den ökande förekomsten av rörlig sand söderut från Örnahusen-Spraggehusen mot Sandhammaren bekräftar en nettotransport söderut och ackumulation vid Sandhammaren. Sanden förekommer vid Örnahusen från strandkanten ut till cirka 200 m, 3–4 m vattendjup, och ökar ganska hastigt vid Spraggehusen ut till åtminstone 1 000 m, cirka 10 m vattendjup, för att sedan öka ännu mer mot Sandhammaren till åtminstone 2 000 m från strandkanten, ned till cirka 10–15 m vattendjup. Detta ger en stor sandmängd som kan interagera mellan land och hav. Det teoretiskt beräknade konvergensdjupet för kustavsnittet är cirka 7 m.

Norr om Simrishamns tätort dominerar en nordlig kustparallell transport, enligt våg-strömmodellen, längs kusten i stort sett till Juleboda. Där rörlig sand förekommer finns den ut till mellan cirka 50 m från strandkanten, ned till cirka 1 m vattendjup, och till cirka 900–1 000 m från strandkanten, ned till cirka 10–14 m vattendjup.



**Figur 13.** Fysiska och dynamiska förhållanden för stränderna från Sandhammaren till Juleboda. Sand- och grustränder förekommer där dynfotens förändrade läge mellan 2007 och 2018 redovisas. En förändring mindre än 2 m betraktas som osäker. Den modellerade sedimenttransporten har tagits fram med vågmodellen SWAN och visar den teoretiskt årliga nettoriktningen och nettostorleken från 1979 till 2020. Förekomsten av olika typer bottensediment och dess dynamik har inte beaktats vid modelleringen. De röda streckade linjerna markerar översiktligt gräns mellan sedimentsystem närmast land.

## Norra Östkusten (Kristianstads och Bromöllas kommun)

### *Juleboda–Åhus*

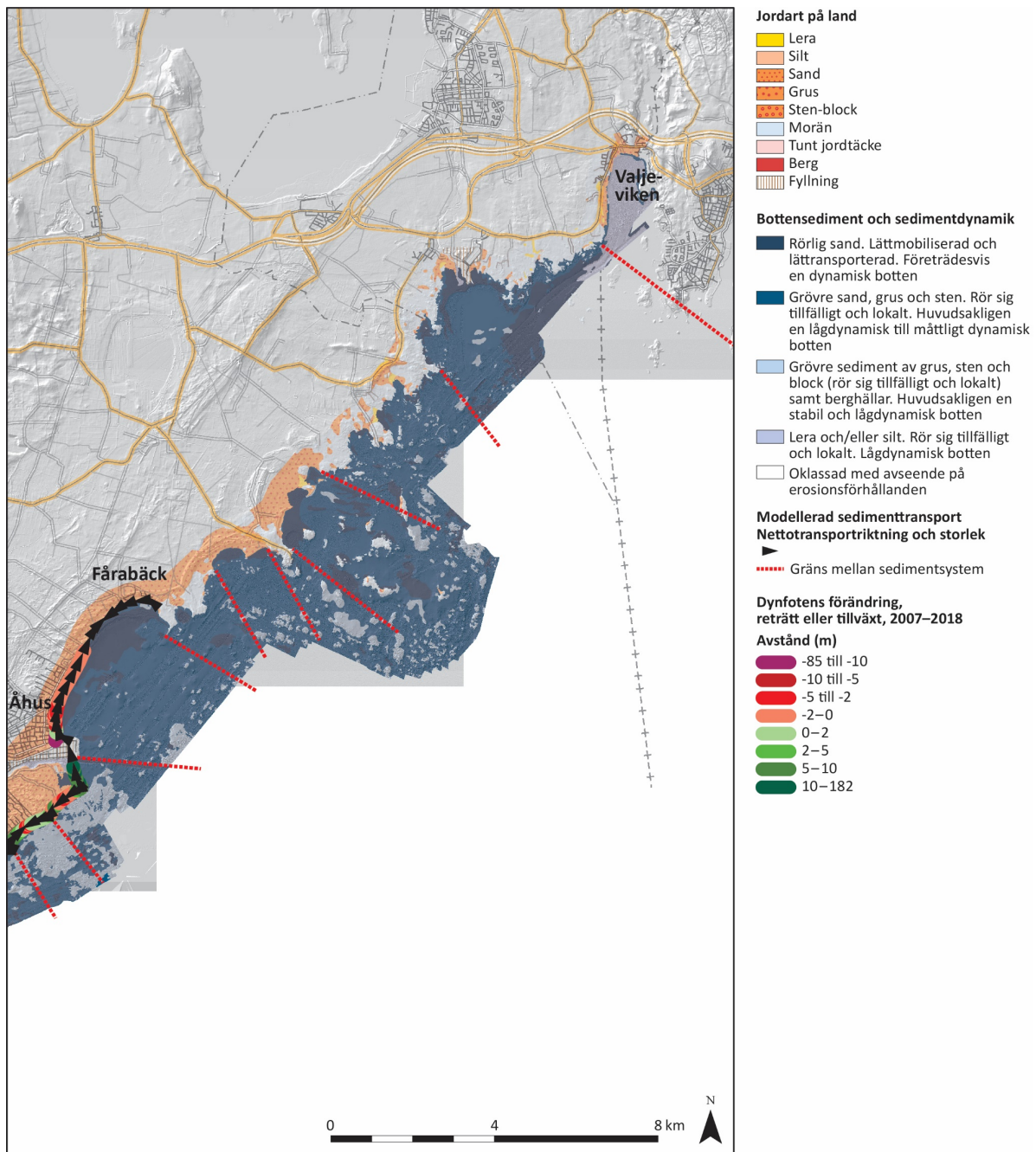
För beskrivning av fysiska förhållanden, kustprocesser och sedimentdynamik i detta kustområde hänvisas det till Nyberg m.fl. (2020).

### *Åhus–Valjeviken*

I strandzonen från Hamrahuset till Valjeviken förekommer morän, både på land och på havsbotten längs stora sträckor, med ett grövre residualmaterial i ytan av grus, sten och block. Detta material är svårmobiliserat, vilket resulterar i ur erosionssynpunkt huvudsakligen stabila kuststräckor, se figur 3, 14 och kartvisare *Stranderosion och geologi, kust*. I en del bukter förekommer sandansamlingar, både på land och på havsbotten, vilket resulterar i dynamiska sand- och grustränder. Dessa stränder utsätts för växelvis erosion och ackumulation och verkar inom respektive område ha en i stort sett balanserad sedimentbudget (Malmberg Persson m.fl. 2016).

Delar av kuststräckan är utsatt för en lägre exponering än exempelvis Skånes sydkust (Malmberg Persson m.fl. 2016, DHI 2018). Denna lägre exponering tillåter att relativt stora lågdynamiska bottenområden med lera och silt kan förekomma. Den relativt lägre exponeringen kan bero på ett skyddat läge i förhållande till en dominerande västlig vindriktning eller att havsbotten utgörs av stora grundområden och även öar. Havsbottenförhållanden i den norra delen av Hanöbukten i form av låg bottenlutning utåt från land och dominerande grövre svårmobiliserat material en bit från land, kan orsaka att vågor bryter och sprider sin energi från upp till några kilometer till ett tiotals meter innan de når land, se figur 14.





**Figur 14.** Fysiska och dynamiska förhållanden för stränderna från Åhus till Valjeviken. Sand- och grustränder förekommer där dynfotens förändrade läge mellan 2007 och 2018 redovisas. En förändring mindre än 2 m betraktas som osäker. Den modellerade sedimenttransporten har tagits fram med vågmodellen SWAN och visar den teoretiskt årliga nettoriktningen och nettostorleken från 1979 till 2020. Förekomsten av olika typer bottensediment och dess dynamik har inte beaktats vid modelleringen. De röda streckade linjerna markerar översiktligt gräns mellan sedimentsystem närmast land.

# FYSISKA OCH DYNAMISKA FÖRHÅLLANDENS BETYDELSE FÖR VAL AV ÅTGÄRDER

## Allmänt

Vid val av skyddsåtgärd bör en analys göras över vilka processer och händelser man vill motverka och skydda sig mot. Dessutom bör man ha kontroll på vad som ska skyddas samt omfattning och geografiska utbredning av det som ska skyddas. Eftersom kustprocesser är pågående och inte kommer upphöra är det även nödvändigt att ha ett tidsperspektiv på åtgärden. Är det en lösning på kort sikt, närmaste åren, eller en lösning på längre sikt, flera årtionden, där klimatförändringar och stigande havsnivå beaktas? I bedömningen bör den naturliga kust- och strandtypen med det material som kusten är uppbyggd av och hur naturligt material fördelas i mark- och bottenytan samt morfologi och kustdynamik beaktas. Dessa fysiska förhållanden kommer inte i någon större utsträckning förändras och bör därför vara en utgångspunkt vid bedömning av möjliga åtgärder:

Vidare bör alltid detaljerade platsspecifika undersökningar göras av fysiska förhållanden och processer samt utredning av effekter och miljökonsekvenser för olika åtgärder. Ju större kunskap om de fysiska förhållandena och processerna och vilka åtgärder som är minst eller mest lämpliga, eller om de behövs, för olika kustavsnitt och tidsperioder, desto bättre klimatanpassningsåtgärder kan vidtas. Åtgärderna bör även sättas in i ett samhällsperspektiv med kostnad och nytta samt identifierad påverkan på olika värden av, exempelvis, natur, ekologi och ekonomi. Åtgärder kan även vara planerade reträtter, en klimatanpassningszon där ny bebyggelse är olämplig, delvis flytt av infrastruktur och bebyggelse eller passiv förvaltning.

## *Kust- och strandtyp samt material som kusten är uppbyggd av*

Det är av betydelse om det är en sandstrand med kronisk erosion eller en klint- och klippkust med akut erosion som ska skyddas. Sandstranden eroderas huvudsakligen genom att större mängder sand borttransporteras än tillförs. Ystads Sandskog och Löderups strandbad är exempel på sand- och grusstränder som förutom att vid ogynnsamt väder utsätts för akut erosion även utsätts för kronisk erosion. Klint- och klippkusten, som kan vara uppbyggd av jord, som exempelvis morän eller isälvsmaterial, eller sedimentärt berg, eroderas huvudsakligen genom underminering av slänten vid högre vattenstånd och vågor vilket orsakar släntskred. I detta fall hamnar skredmaterialet på strandplanet och sorteras genom våg- och strömprocesser med följd av att finmaterial som lera, silt eller sand borttransporteras och grövre material som grus, sten och block lämnas kvar på strandplanet.

Om en strand har en bakomliggande svåreroderad klippa, klint eller hårt skydd kan detta resultera i en nettotransport av material från stranden vid stigande havsnivåer, vilket orsakar en krympande strandremsa. I ett sådant fall hindras den naturliga förflyttningen av material från stranden in mot land och tillförseln av material till stranden från bakomliggande klint eller klippa är mindre än borttransporten.

## *Fördelning av material i mark- och bottenytan*

Måktigheten och utbredningen av material, både på land och havsbotten, i ett område är av betydelse. Exempelvis har den mängd sand som förekommer i den aktiva strandprofilen, det vill säga det område från den höjd ovan havet på land till det vattendjup på havsbotten som påverkas av vågor och vind, stor betydelse. Enligt teorin, se exempelvis Bruuns lag (Bruun 1962), så kommer, efter erosion orsakad av högre havsnivå och större vågor, sand transporteras ut från stranden och fylla på den aktiva profilen tills botten har höjts upp så mycket att ett nytt jämviktsläge inställer sig. Detta förutsätter dock att den aktiva profilen är helt uppbyggd av sand, med en viss måktighet, och att det inte förekommer någon sandtransport längs kusten. Detta är ju dock

inte fallet längs med stora delar av den svenska kusten, se figurer 3–14, då där förekommer en relativt liten förekomst och tillgång på av den lättmobiliserade och rörliga sand som är en del av den aktiva strandprofilen. Av den anledningen bör Bruuns lag användas med försiktighet för att beräkna hur en strandlinje ändras vid en höjd havsnivå och vid val av erosions- eller översvämningssåtgärd. (Cooper & Pilkey 2004, Cooper 2020).

### ***Sedimentdynamik och morfologi***

Vid val av åtgärd är det också viktigt att beakta sedimentdynamiken i området. Om exempelvis naturliga erosionsskydd av grus, sten och block i ett ur erosionssynpunkt stabilt område avlägsnas eller ändras kan underliggande finmaterial mobiliseras och eroderas under längre perioder med följd av att sedimentdynamiken och erosionsförhållanden förändras. Detta kan också orsaka grumling som påverkar livsbetingelserna i området. Nettoriktning och nettostorlek av sandtransport bör också beaktas samt om sedimentsystemet i området är slutet eller öppet, det vill säga om mängden sand förblir oförändrad och endast omfördelas i systemet och området, eller om området är placerat i sedimentsystemet så att mängden sand minskar eller ökar över tid. Åtgärder och skydd kan öka, reducera eller stoppa sedimenttransporten mellan olika kustavsnitt och bukter. En minskad sandtillförsel till ett område kan minska områdets förmåga att motstå erosion och översvämning.

Om strandfodring utförs bör sanden placeras i den aktiva strandprofilen i relevant sediment-system så att erosionens negativa effekter lindras. Sand för strandfodring, från ett brett internationellt perspektiv, placeras på landdelen av stranden och mot sanddynerna eller nära strandlinjen, nedanför och utanför den yttersta sandreveln eller jämnt fördelat i hela den aktiva strandprofilen. Dessutom kan sand läggas uppströms för transport av vågor och strömmar in i erosionsområdet. Sand kan även hjälpas förbi ett hinder i syfte att undvika såväl ackumulation på uppströmssidan som erosion på nedströmssidan av hindret. Slutstationen, det vill säga området där sanden slutligen ackumulerar i sedimentsystemet, är dock inte i området där erosionsproblemet förekommer, vilket snarare är som en hållplats på vägen. Detta innebär att sand kontinuerligt måste fyllas på i systemet. Vidare bör man beakta att ingrepp i det sedimentdynamiska systemet kan förändra bottensubstrat för växter och djur. Exempelvis växer vegetation som älgräsängar bäst i mjukare sediment, till exempel silt eller sand, som tillåter att deras rötter kan växa samt i områden med en bottenmiljö som har en måttlig sedimentdynamik och vågexponering.

Dynamiska sand- och grusstränder har existerat i ungefär samma områden längs Hallands och Skånes kust sedan istiden då den ursprungliga avsättningen av sand och grus inträffade. Havsnivån och strandlinjernas läge har dock varierat under denna tid, vilket innebär att stränderna har naturligt anpassat och sig till olika förhållanden och förflyttats både ut till havs och in mot land. Omlagring, svallning och, mestadels, en lokal förflyttning av sand har förekommit. Denna naturliga process måste beaktas vid val av åtgärder. Om åtgärder vidtas som hindrar eller påverkar denna naturliga förflyttning av sand och grus in mot land under stigande havsnivåer finns risk att en nettotransport istället sker bort från stranden, som därmed eroderar och blir mindre.

### **Exempel från befintliga åtgärder**

En översiktlig analys visar att en del av de befintliga åtgärderna fungerar bra utan större konsekvenser, och att vissa åtgärder, speciellt hårda skydd, kan orsaka en större erosion och borttransport av sediment bredvid eller framför skydden. Dessutom reducerar eller hindrar några åtgärder sandtransport inom den aktiva strandprofilen och påverkar strändernas naturliga omfördelning av sand. Här redovisar vi två exempel med sämre funktion och konsekvenser som bör beaktas vid planering val och design av åtgärd. Fortsatta utvärderingar av befintliga åtgärders funktioner bör utföras.

### ***Hårda skydd***

En erosionsåtgärd på en plats kan orsaka en ökad erosion på en annan plats. Detta beror på att kuststräckan och sedimentsystemet, trots åtgärden, måste anpassa sig till samma grad av exponering och energi. Omfattningen av erosion och förflyttning av sediment kommer därför fortsatt motsvara mottagen energi. Detta innebär om material inte är tillgängligt (på grund av hinder som exempelvis bryggor, murar eller hövder) kommer material istället att eroderas från andra platser, både på land och havsbotten, för att kuststräckan ska anpassas till mottagen energi. I längden kan detta orsaka en större reträtt av stränder vid områden där sådana konstruktioner som bryggor, murar eller hövder finns än vad som vore fallet utan dem.

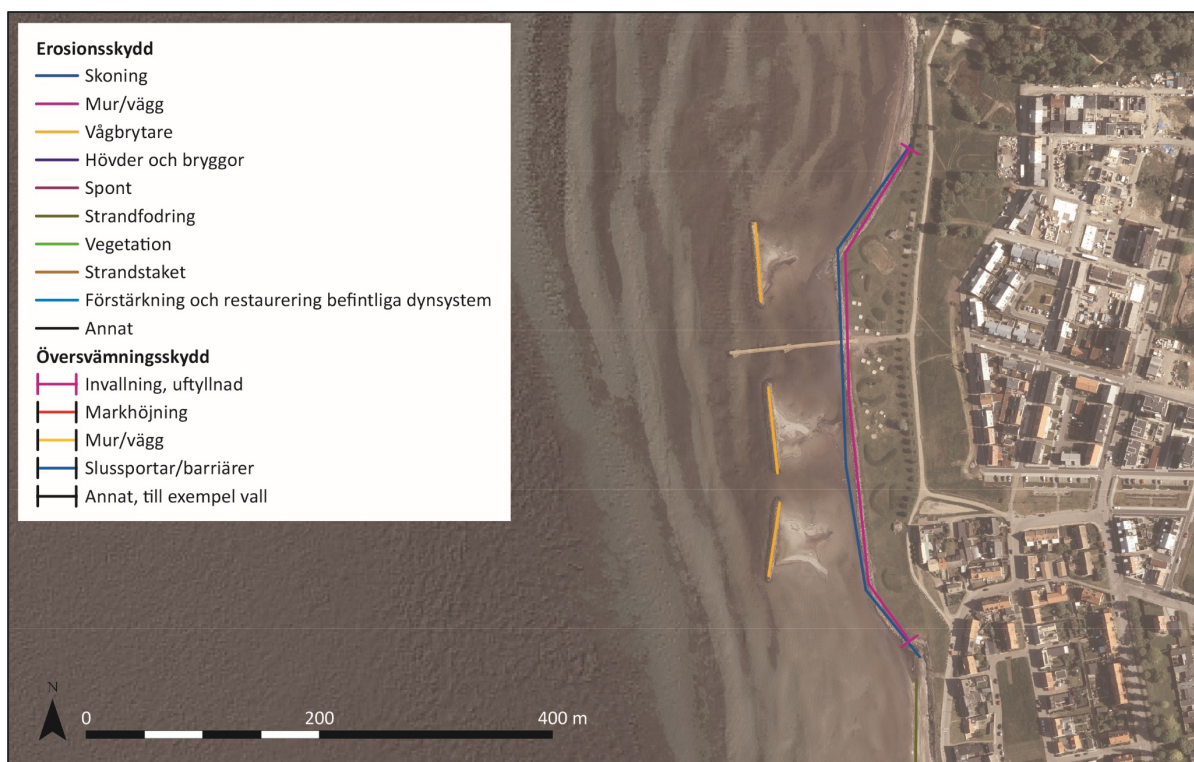
Ett exempel på detta visas i figur 15 för en skoning söder om Helsingborg. Ett hårt skydd som denna skoning, men även, murar och hövder, kan orsaka en större erosion och borttransport av sediment vid sidan av eller framför skyddet på grund av att vågor reflekteras av skyddet. I vissa fall kan dessa ändrade erosions- och sedimentdynamikförhållanden även innebära en ökande mottagen vågenergi och tilltagande erosion för kustavsnittet. Detta beror på en förändrad morfologi som till exempel ett större vattendjup. När vattendjupet är större ökar vågenergin som reflekteras av skydden vilket orsakar ytterligare erosion och borttransport av material.

### ***Inverkan på sedimentdynamik och transport***

Sedimentdynamik, sedimenttransportriktning och olika sediments utbredning i bottenytan bör beaktas vid placering och val av olika skyddsåtgärder i vatten. Ett exempel är vågbrytare som syftar till att reducera våghöjden bakom dem. Den minskade våghöjden reducerar sedimenttransporten bakom vågbrytaren, om bottensedimentet och dess dynamiska egenskaper samt sedimentsystemet tillåter det. Den reducerade sedimenttransporten bakom vågbrytaren kan göra så att områden i sedimentsystemet nedströms vågbrytaren får, till exempel, mindre sand än vad de annars skulle få, vilket kan minska områdenas förmåga att motstå erosion och översvämning. Själva vågbrytarkonstruktionen kan även reducera eller stoppa sandtransport inom den aktiva strandprofilen, vilket kan påverka strändernas naturliga omfördelning av sand för anpassning och respons till vågor, vatten och vind, se figur 16. Samma fenomen med påverkan på områden nedströms i sedimentsystemet samt inom den aktiva strandprofilen kan uppkomma för alla hårda strukturer och hamnar om bottensedimentet och dess dynamiska egenskaper samt sedimentsystemet tillåter det.



**Figur 15.** Ett exempel på en skoning av sten och block söder om Helsingborg som orsakar större erosion och borttransport av sand vid sidorna av erosionsskyddet. Markeringen av skoningen, blå linje, samt teckenförklaring med symboler är tagna från den framtagna geodatabasen av befintliga erosions- och översvämningsskydd.



**Figur 16.** Ett exempel på friliggande vågbrytare vid Borstahuset som påverkar sandtransporten inom den aktiva strandprofilen. Sand ackumulerar på läsidan av vågbrytarna vilket orsakar en uppgrundning på landsidan och en fördjupning av botten på havssidan av vågbrytaren. Markeringarna av vågbrytarna, gula linjer i vattnet, samt teckenförklaring med symboler är tagna från den framtagna geodatabasen av befintliga erosions- och översvämningsskydd.



## ORDLISTA

**Aktiv strandprofil.** Området från den höjd på land ned till det vattendjup på havsbotten, som vind, vågor och strömmar påverkar stranden.

**Akut erosion.** Akut erosion orsakas av en kombination av vågor och högt vattenstånd vilket vanligtvis är förknippat med tillfällena som stormar.

**Backscatterdata.** Yttäckande mätningar av vattendjup och sedimentfördelning för havsbotten görs genom att ljudpulser skickas ut och reflekteras tillbaka. Backscatterdata är bottenytteavbildande mätdata som ger information om bottenens hårdhet och sedimentfördelning. Backscatterdata baseras på energiinnehållet som reflekterande ljudpulser ger vid mätning med så kallat multibeam-ekolod.

**Batymetri.** Vattendjupsförhållanden.

**Bruuns lag.** Bruuns teori går ut på att sandprofilen strävar efter att bibehållas och höjs medelvattenståndet kompenseras den djupare sandprofilen genom att sediment från land omfördelas till botten.

**Erosion.** Nednötning av berg, jord eller annat material till följd av mekanisk eller kemisk påverkan och transport av materialet från en plats till en annan. För en kustremsa, som ständigt anpassar sig till vågor och havsnivåer vid varje given tidpunkt, är erosion en kontinuerlig process.

**Jurassisk ålder.** Bildats under den geologiska tidsåldern Jura.

**Klintkust.** Där den kustnära terrängen ligger några meter högre än havsytan och det geologiska materialet utgörs av jordarter.

**Kambrisk.** Bildats under den geologiska tidsåldern Kambrium.

**Klippkust.** Där den kustnära terrängen ligger högre än havsytan och det geologiska materialet utgörs av berggrund.

**Konvergensdjup.** Vattendjup till vilket vågor påverkar bottensedimenten.

**Kronisk erosion.** Erosion, som pågår fortlöpande, orsakad av att den totala tillförseln av sediment till ett område med ett relativt oberoende sedimentdynamiskt system är mindre än borttransporten över tid.

**Kustprocess.** Samlingsnamn för alla fysiska processer som verkar vid havsstranden.

**Marsk.** Flackt område beläget vid kusten som emellanåt översvämmas och som bildats genom en med tiden uppkommande ansamling av sand. Vegetation i form av bland annat gräs är vanligt förekommande.

**Marsktorv.** Delvis konsoliderad organisk jordart i ett marskområde bestående av, beroende på syretillgång, mer eller mindre förmultnade växtrester.

**Sediment- och bottendynamik.** Hur och hur mycket material av en viss kornstorlek mobiliseras, transporteras och deponeras i ett område orsakat av fysiska förhållanden och processer.

**Morfologi.** Botten- och landformer.

**Residualmaterial.** Det material som lämnats kvar i den ursprungligt avsatta jordarten efter att det erosionskänsliga materialet eroderats och transporterats bort av vågor, vattenströmmar eller vind. Residualmaterialet består ofta av grövre material som sten och block, ett exempel är klapper, som har hög motståndskraft mot fortsatt erosion.

**Sandrevel.** Oftast en långsmal sandackumulation som förekommer mer eller mindre parallellt med stranden på botten. Sandrevel är en formation bildad av vågor och ganska liten i utsträckning tvärs stranden (några tiotals meter) och ingår ofta i ett revelsystem med flera sandrevlar som ligger parallellt med varandra.

## REFERENSER

- Birgander, J., Persson, P. & Nilsson, T., 2018: Verktyg för sandvolym och erosionskänslighet. *Länsstyrelsen 2018-04*, 70 s.
- Boestam, M., 2020: Stränder med erosion och ackumulation längs kuststräckan Trelleborg-Abbekås under perioden 2007–2018. Examensarbete, Geologiska institutionen, Lunds universitet.
- Cooper, J.A.G. & Pilkey, O.H., 2004: Sea-level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule. *Global and Planetary Change* 43, 157–171.
- Cooper, J.A.G., Masselink, G., Coco, G., Short, A.D., Castelle, B., Rogers, K., Anthony, E., Green, A.N., Kelley, J.T., Pilkey, O.H. & Jackson, D.W.T., 2020: Sandy beaches can survive sea-level rise. *Nature Climate Change* 10, 993–995. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00934-2>
- Daniel, E., 2007: Beskrivning till jordartskartorna 4C Halmstad NV, NO och SO. *Sveriges geologiska undersökning K 57–59*.
- Fredriksson, C., Almström, B., Hansson, H., Larsson, M. & Persson, O., 2017: Sandbehov för att motverka stranderosion utmed Skånes sydkust under perioden 2017–2100. *VATTEN – Journal of Water Management and Research* 73:77–84.
- Hallin, C., Almström, B., Larson, M. & Hanson, H., 2019: Longshore transport variability of beach face grain size: Implications for dune evolution. *Journal of Coastal Research*, 35(4), 751–764.
- Karlsson, R. & Hansbo, S., 1984: Geotekniska laboratoriehänvisningar, del 2. Jordarternas indelning och benämning. Bygghörsningsrådet, 48 s.
- Lindell, J., Fredriksson, C. & Hanson, H., 2017: Impact of dune vegetation on wave and wind erosion – A case study at Ängelholm Beach, South Sweden. *VATTEN – Journal of Water Management and Research* 73:39–48
- Malmberg Persson, K., Nyberg, J., Ising, J. & Persson, M., 2014: Skånes känsliga stränder – ett geologiskt underlag för kustzonsplanering och erosionsbedömning. *SGU-rapport 2014:20*. Sveriges geologiska undersökning, 30 s.
- Malmberg Persson, K., Nyberg, J., Ising, J. & Rohde, L., 2016: Skånes känsliga stränder – erosionsförhållanden och geologi för samhällsplanering. *SGU-rapport 2016:17*. Sveriges geologiska undersökning, 61 s.
- Malmberg Persson, K., Ising, J., Goodfellow, B.W., Magnusson, E. & Smith, C., 2019: Erosionsförhållanden längs södra Hallands kust. *SGU-rapport 2019:07*. Sveriges geologiska undersökning, 22 s.
- Manger, K., 2017: Shoreline management guidelines. *DHI*, 449 s.
- Nyberg, J., 2016: Maringeologisk karta och beskrivning, Sydöstra Östersjön. *Sveriges geologiska undersökning K 542*.
- Nyberg, J., Schoning, K., Grånäs, K., Nordström, S., Nordgren, P., Svensson, A., Lingsten, L., Hammar, L., Hemmingsson, M. & Tingström, L., 2017: Förutsättningar för utvinning av marin sand och grus i Sverige. *SGU-rapport: 2017:05*. Sveriges geologiska undersökning, 84 s.
- Nyberg, J., Goodfellow, B., Ising, J. & Hedenström, A., 2020: Kustnära sedimentdynamik. *SGU-rapport 2020:04*. Sveriges geologiska undersökning, 55 s.

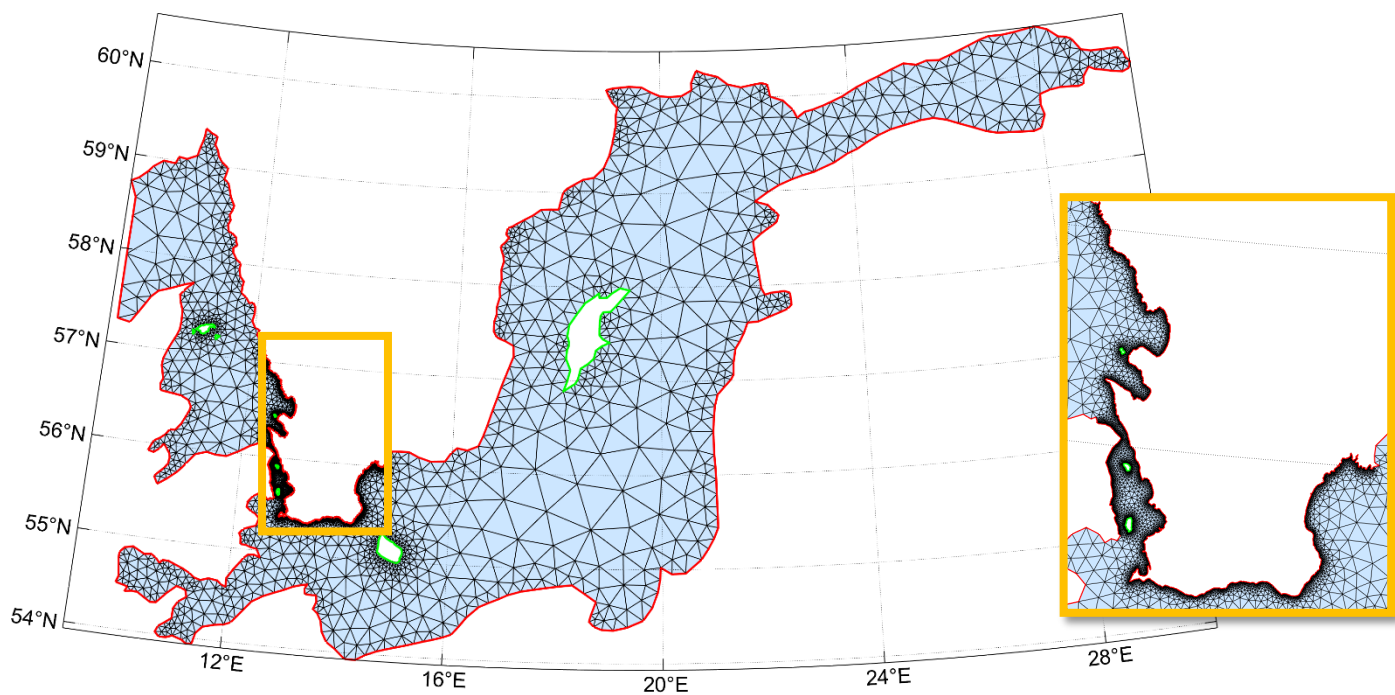
- Slagbrand, P. & Klingberg, F., 2015: Maringeologisk karta och beskrivning, Kriegers flak–Ystad. *Sveriges geologiska undersökning K 510*.
- Sweco 2011: Stranderosion i Ängelholms kommun – inventering av nuvarande förhållande och rekommendationer för framtiden. *Handlingsid: 2012.750*.
- Woodruffe, C.D., 2002: *Coasts: Form, Process and Evolution*. Cambridge University Press.
- Åhman, R., 1980: Stranderosion vid Löderup. *Svensk geografisk årsbok 56*, 38–46.

# **BILAGA 1. METHODOLOGY FOR WAVE CLIMATE AND LONGSHORE TRANSPORT ALONG COASTS OF SKÅNE AND HALLAND**



LUNDS UNIVERSITET  
Lunds Tekniska Högskola

# Methodology for Wave Climate and Longshore Transport Along Coasts of Skåne and Halland



2020-11-23  
Lunds Tekniska Högskola

Authors  
Almir Nunes de Brito Junior, Björn Almström, Magnus Larson



## TABLE OF CONTENTS

1	INTRODUCTION .....	3
1.1	Background.....	3
1.2	Purpose with this appendix .....	3
1.3	Summary of the Methodology.....	3
2	WAVE MODEL.....	4
2.1	Numerical Modelling of Waves.....	4
2.2	Input data .....	4
2.2.1	Wind. Data.....	4
2.2.2	Bathymetry .....	4
2.3	Spatial and temporal discretization .....	5
2.4	Model Setup .....	6
2.5	Calibration and Validation .....	7
2.6	Results from the wave model .....	10
3	POTENTIAL LONGSHORE SEDIMENT TRANSPORT .....	12
3.1	Background CERC formulation .....	12
3.2	Input data .....	13
3.2.1	Shoreline configuration .....	13
3.2.2	Input waves .....	13
3.3	Setup and Calibration of CERC .....	14
3.4	Results.....	14
4	DISCUSSION.....	17
4.1	Wave Model .....	17
4.2	Potential Longshore Sediment Transport.....	18
5	REFERENCES .....	19
6	GLOSSARY.....	21

# 1 INTRODUCTION

---

## 1.1 Background

The Geological Survey of Sweden (SGU) was funded by the Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) in 2020 to run the working group "*Klimatanpassningsåtgärder i kustzonen.*" A key aim of this group is to produce a knowledge base on physical coastal processes, including using the wave climate to model dominant longshore sediment transport (LST) directions along the Skåne-Halland coast. Wave climate and sediment transport modelling was done by The Division of Water Resources Engineering (TVRL) at Lund University, using hindcast wind data dating back to 1979.

## 1.2 Purpose with this appendix

This appendix to *Fysiska och dynamiska förhållanden längs Skånes kust - underlag för klimatanpassningsåtgärder* describes the wave field and sediment transport modelling methodology. This appendix also presents the different formats in which the wave and sediment transport results of the modelling can be displayed and applied. Finally, the underlying assumptions and limitations that should be considered when interpreting the modelling results and implications are discussed.

## 1.3 Summary of the Methodology

In this modelling, waves in the Baltic sea were generated and propagated towards the nearshore zone of the Skåne-Halland coast using the third-generation SWAN (Simulating WAVes Nearshore) spectral model. This model output included significant wave height ( $H_s$ , meters), peak period ( $T_p$ , seconds) and average wave direction ( $Dir$ , in degrees; cartesian convention) in the nearshore locations corresponding to nodes of the model grid. To obtain the wave breaking characteristics, further wave propagation (shoaling and refraction) was modelled using Linear Wave Theory, and a constant breaker index (ratio between the wave height at break and the water depth) was assumed to obtain the wave height at breaking. Finally, the simulated breaking wave heights and angles relative to the shorelines were used to calculate potential LST using the CERC equation developed by the Coastal Engineering Research Center, USA (CERC, 1984).

## 2 WAVE MODEL

---

### 2.1 Numerical Modelling of Waves

The numerical modelling of ocean waves is the numerical solution of a set of equations representing the processes that generate, propagate, and dissipate waves. Modelling may target past wave conditions or predict future wave conditions for a given study region. Numerical wave models vary in complexity (from phase-resolving to phase-averaged models) and in the locations in which they are used (including offshore, nearshore, and where waves interact with coastal structures).

The SWAN model (Booij et al., 1999; Ris et al., 1999) used in this study is a freely available and widely applied phase-averaged model developed at the Delft University of Technology. This spectral model, based on the action balance equation, was chosen for its capacity to represent both nearshore and offshore wave processes. The representations of offshore processes including wave generation by wind, wave-wave interactions, bottom friction, and white-capping are the same as computed by another widely used model, WAM. However, SWAN better captures processes of nearshore wave transformation, and so is more applicable to this study (Holthuijsen, 2010). We have therefore adapted SWAN, with consideration also for computational costs.

### 2.2 Input data

#### 2.2.1 Wind data

Wind provides the forcing for wave generation and wind data (directions, durations, and speeds) are therefore crucial input to SWAN. In this study, wind data was taken from the ERA5 reanalysis dataset provided by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). The U (eastward) and V (northward) horizontal components of the wind velocities at 10 m height above sea level were obtained, at three-hour intervals, for the entire available period (1979-2020), at a spatial resolution of  $0.25 \times 25^\circ$  (approximately 30 x 30 km for the Baltic Sea and Öresund study area). The ERA5 is the most recent reanalysis dataset provided by the ECMWF. However, it is expected that the dataset will soon be extended back to 1950, which will then permit wave field modelling over the most recent seven decades.

#### 2.2.2 Bathymetry

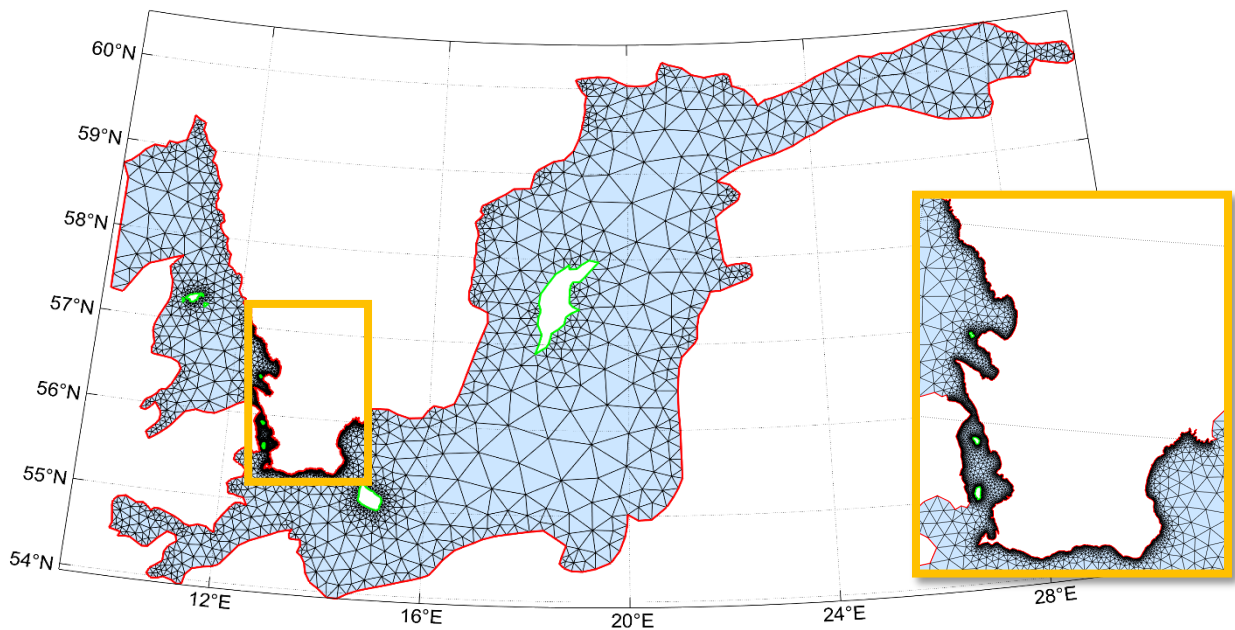
Bathymetric data for SWAN were extracted from two sources. For the Baltic sea, including Öresund and Kattegat, bathymetry was provided by the European Marine Observation and Data Network (EMODnet). This bathymetry is from 2018 and has a spatial resolution of approximately 115 x 115 m. The nearshore bathymetry for Skåne and Halland was provided by SGU at a high resolution of 2 x 2 m (Figure 1). These two bathymetric datasets, nearshore and offshore, were integrated and the resolution was resampled to 25 x 25 m nearshore using QGIS software.



Figure 1. Location of the nearshore bathymetry provided by SGU. The red and blue colors represent deep and shallow bathymetry, respectively.

### 2.3 Spatial and temporal discretization

To calculate wave processes in the model domain, the region of interest must be discretized in both space and time. The type of spatial discretization chosen in the current study was the triangular flexible mesh, with varying resolution from coarser in the Baltic to finer in the Skåne-Halland nearshore zone, as can be seen in Figure 2. This unstructured spatial discretization was chosen because it offers three key advantages over a regular grid. Unstructured grids demand a lower number of grid nodes to represent the model domain, demanding an overall lower computational cost for the simulations. Also, this kind of mesh can better represent complex morphological features of the coast including sounds, bays, and headlands. Finally, the unstructured grids permit the definition of different resolutions for different regions, depending on the level of interest of that area for the study, or depending on the dynamics of the processes being represented. For example, finer grids can be desirable in shallow waters, where waves can transform rapidly, but remain coarse in deep waters, where there is less spatial variation in the wave field. Finer grid resolution was defined for the coastal areas, as this the area of interest of this study and where more detailed information is required for estimating the sediment transport rates.



*Figure 2. Numerical grid created for the spatial discretization of the model's domain. The blue and green lines correspond to closed boundaries (i.e. the outer limits of the model domain) and islands, respectively.*

The grid resolution for the Skåne-Halland coast was set as 200 m in the nearshore zone and a maximum resolution of 50 km offshore. This way, regions distant from the coastline, where high accuracy and precision are less important, have lower computational demand and the computational efforts are focused on the Skåne-Halland coast. The numerical grid was generated through the OceanMesh2D MATLAB package (Roberts et al., 2019). This tool also handled the interpolation of the bathymetry values to the grid nodes. A high-resolution grid extends along the coast from Varberg, in the northwest of the study region, to Sölvesborg, in the northeast.

The temporal discretization of the current model, also called the time step of the numerical solution, was set to 10 min. This value follows the recommendations in the SWAN model user manual (SWAN team, 2007) for a non-stationary computation (wave conditions changing over time). This ensures the stability of the numerical scheme without imposing a limiting computational cost.

## 2.4 Model Setup

The SWAN model setup adopted used a non-stationary time scale, operating in third-generation mode (GEN3), for the quadruplet interactions and white capping. Other wave transformation processes simulated included generation by wind, depth induced breaking, bottom friction dissipation, and triads (three-wave interactions, which are important in shallow waters). Except for the white capping process, all the coefficients values used were default for the SWAN 41.31A version. One of the white capping coefficients was modified for calibration, as described later in this appendix.



A spectral resolution of 10 directional bins and frequencies from 0.03 to 1 Hz was adopted. This frequency range and direction spreading resolution were adopted for a better representation of both swell and wind sea waves. Fixed boundary conditions were adopted, meaning that this setup does not consider wave input from outside the model domain. All the waves present were generated locally by the wind forcing. Implications of this assumption are discussed later in this report.

The period of simulation chosen was as extensive as permitted by the wind data provided by the ERA5 reanalysis. This period was set from June 1979 to January 2020. The simulations were organized to start on June 20th, which is a period of low wave activity in the region of interest. A warm-up period of 10 days was defined, which was excluded from the results. This warm-up period exclusion is necessary to ensure that any possible numeric errors caused by uncertainties in the model initial conditions are disregarded.

Because of the high computational costs of running this wave set up for approximately 40 years of simulation, the Lund University facilities for cluster processing were used. The model setup was split into 20 computational nodes (every 2 years of simulation period) with 20 cores processing each node. The total simulation took approximately 2 days to complete.

The resulting outputs were recorded at three-hour intervals in the simulation. The information saved at each node of the grid of the estimated wave spectrum includes the significant wave height, relative peak period and mean wave direction. Also, wind velocities were extracted from the model to enable validation of the interpolation of these velocities to the grid. The file format of the output is NetCDF and the output has a total size of 20 Gb.

## 2.5 Calibration and Validation

The calibration and validation of the current SWAN setup were achieved through the comparison of the output ( $H_s$  and  $T_p$ ) against the observations at SMHI wave gauges. The selected SMHI gauge stations, their locations, and data availability are presented in Figure 3.



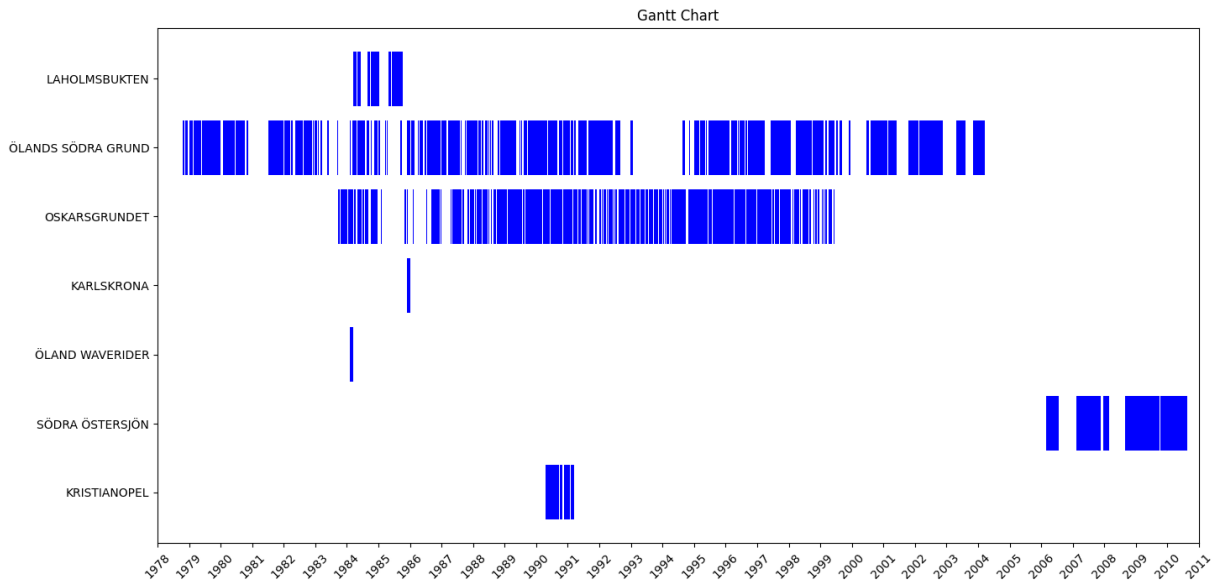


Figure 3. (top) Location of the SMHI wave gauges selected for the model calibration. (bottom) Gantt chart showing the data availability of these gauges since 1979.

Two important steps in verifying the model performance include calibration (adjustment of the model coefficients based on a portion of the observations) and validation (checking the performance against a different and larger dataset). The model was calibrated by adjusting the white capping coefficient (CDS2) and comparing the results against observed data. After several short-term simulations (1 year), the optimum obtained value was equal to  $1.1 \times 10^{-5}$ . The quality of the comparison between real and modelled data was guided by the coefficient of determination ( $R^2$ ).

Validation of the wave model was done by comparing  $H_s$  and  $T_p$  simulated by SWAN with observed values for  $H_s$  and  $T_p$ , again guided by  $R^2$ . A graphical comparison between simulated and observed values for  $H_s$  and  $T_p$  are presented in Figure 5. Discussion of the quality of these results, including possible sources of uncertainty, is provided in the Discussion section of this appendix.

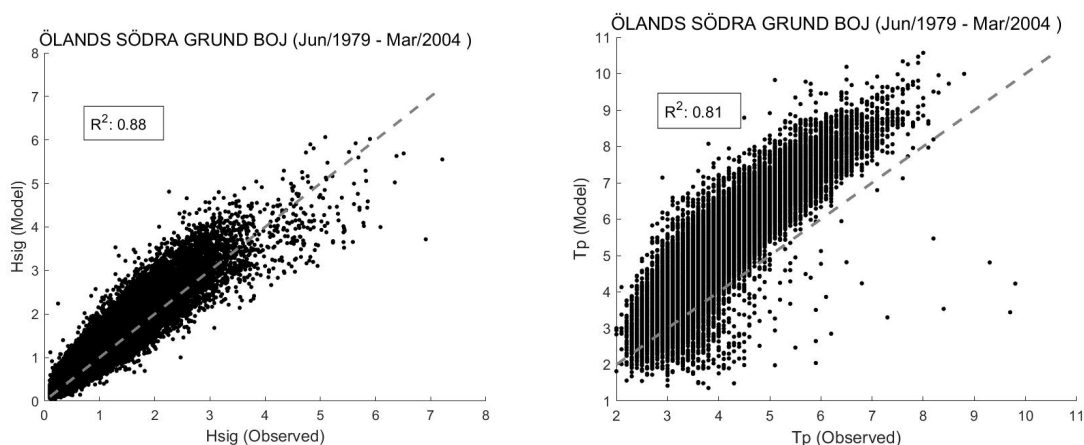


Figure 4. SWAN model validation using data from the SMHI wave gauge located at Ölands Södra Grund: Significant wave height (left) and Peak period (right).

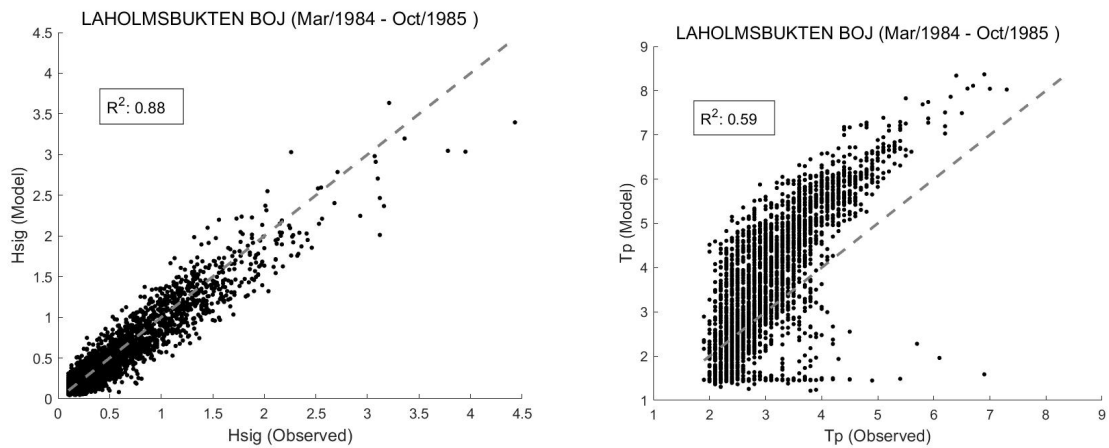


Figure 5. SWAN model validation using data from the SMHI wave gauge located at Laholmsbukten: Significant wave height (left) and Peak period (right).

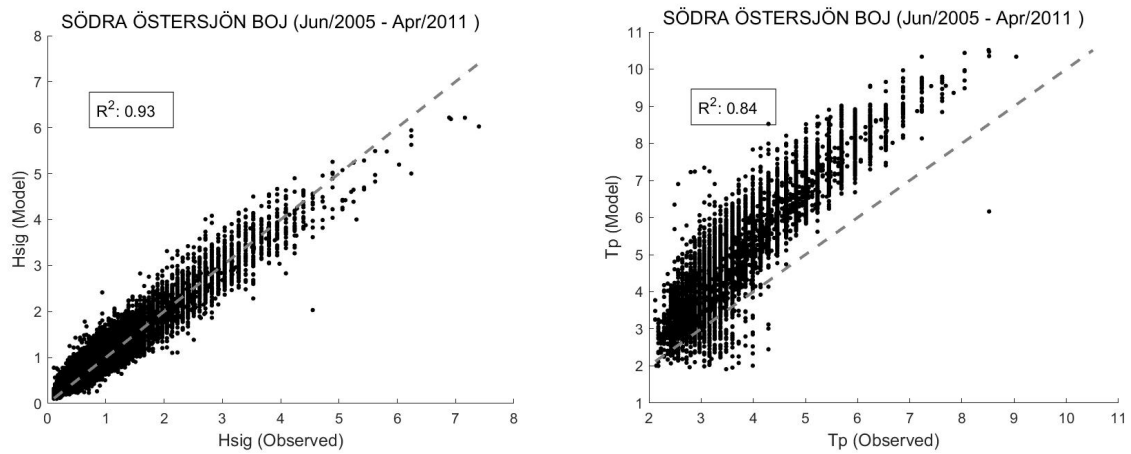


Figure 6. SWAN model validation using data from the SMHI wave gauge located at Södra Östersjön: Significant wave height (left) and Peak period (right).

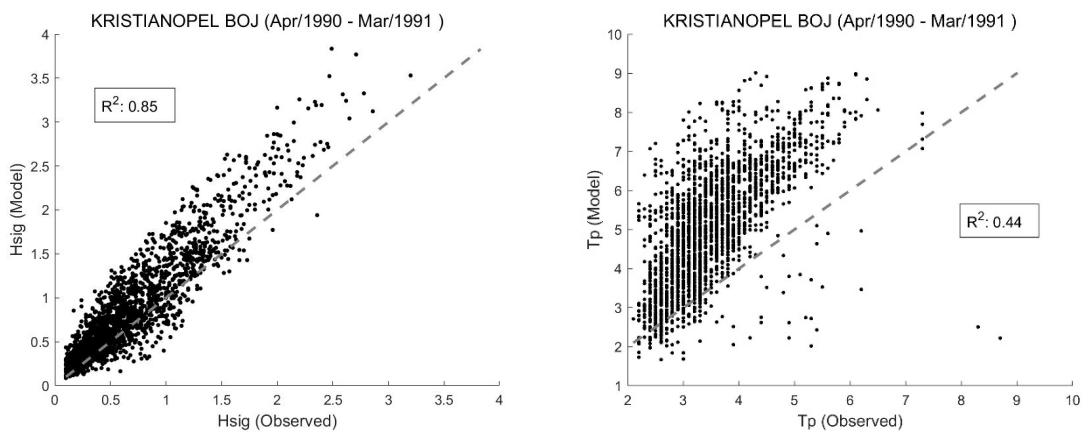


Figure 7. SWAN model validation using data from the SMHI wave gauge located at Kristianopel: Significant wave height (left) and Peak period (right).

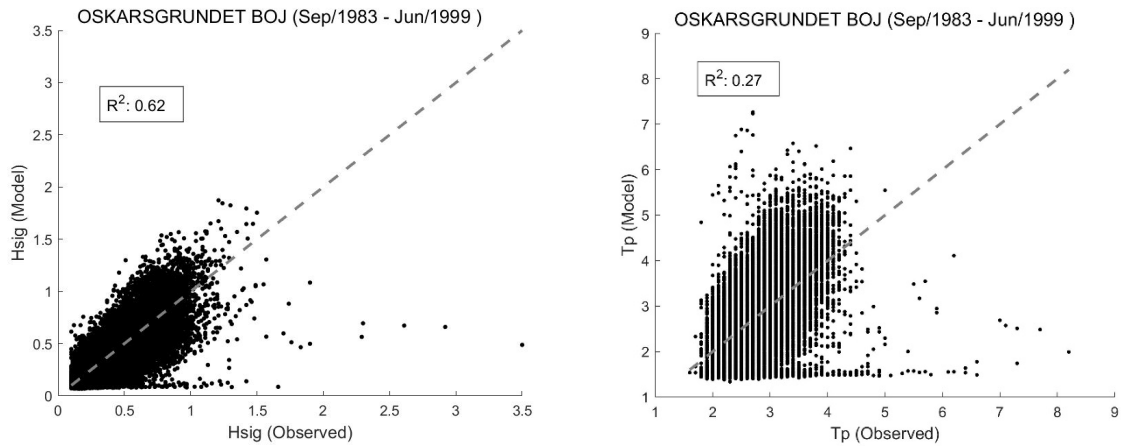


Figure 8. SWAN model validation using data from the SMHI wave gauge located at Oskarsgrundet: Significant wave height (left) and Peak period (right).

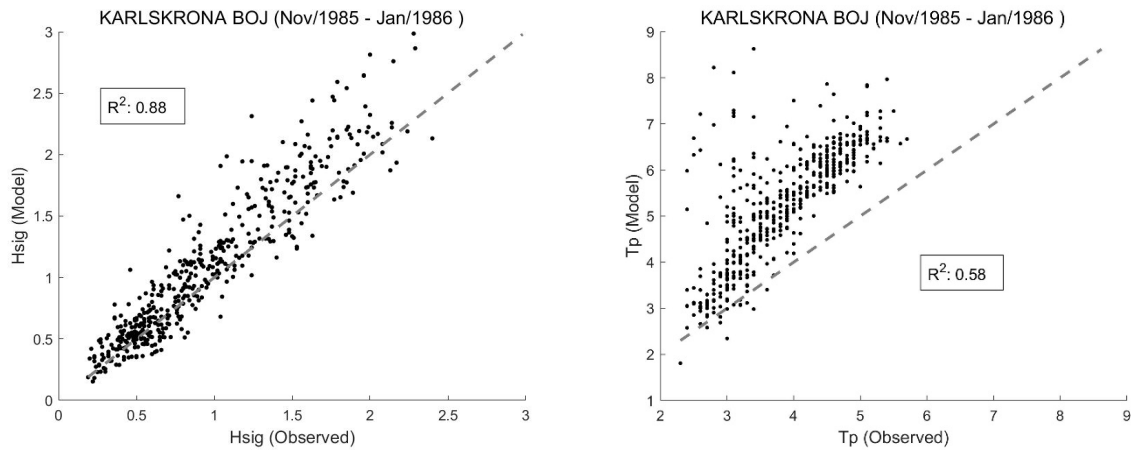


Figure 9. SWAN model validation using data from the SMHI wave gauge located at Karlskrona: Significant wave height (left) and Peak period (right).

## 2.6 Results from the wave model

Time series of modelled wave characteristics (Hs, Tp, Dir) can be extracted for selected grid node coordinates using MATLAB or another programming language. These data can be visualized in different plotting formats. Examples of these plots in selected locations are presented below.

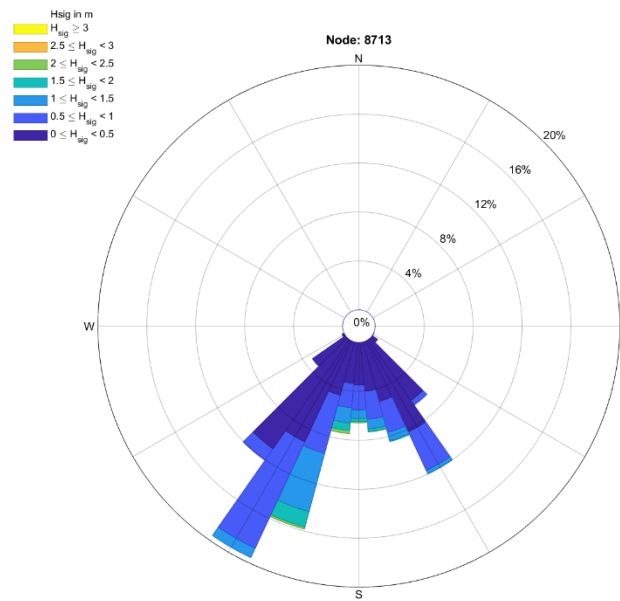


Figure 10. An example of a visualization of incident directions and significant wave heights in the form of a rose diagram. This plot shows these data for the SWAN grid node 8713 3644, located in the nearshore zone of Ystad bay, for the complete simulation period (from 1979 to 2020).

Figure 10 presents the visualization of the wave results for the whole period simulated for a grid node located in the nearshore zone in the Ystad embayment. Polar coordinates using a nautical convention (north corresponding to 0 degrees and east is 90 degrees) are used to indicate incident wave directions. The waves' directions are interpreted as the direction the wave is "coming from" as is the convention for wind. The percentages in Figure 10 represent the percentage of the simulated waves that come from the specified direction and with a specific significant height (indicated by the colors).

Two-dimensional plots provide another format for the visualization of the wave model results, such as shown in Figure 11. This type of plot provides the visualization of the spatial distribution of the simulated wave field. The colors represent significant wave height in meters, the dashed lines indicate bathymetric contours, and the black arrows represent the wave direction at the model grid nodes.



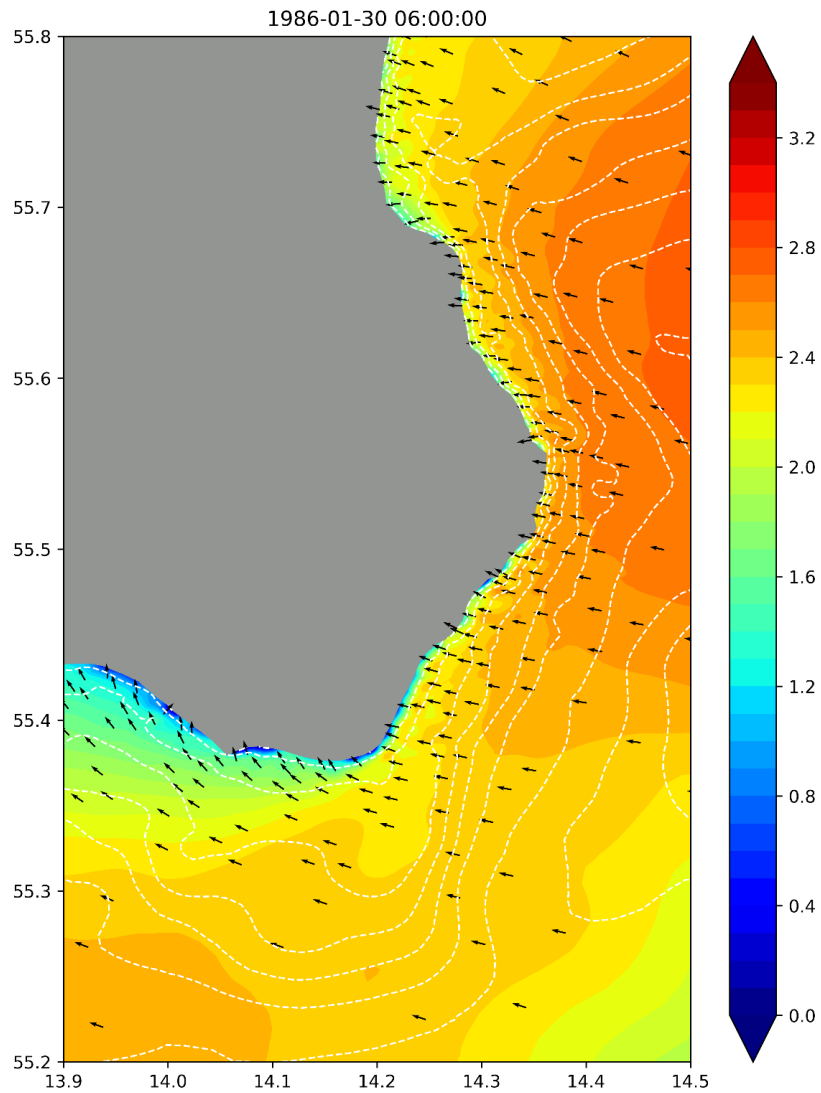


Figure 11. An example of visualization of the simulated wave field in the form of a 2D plot. This plot corresponds to the south-eastern coast of Skåne for a specific time on January 30th, 1986. The colors represent significant wave height in meters, the dashed white lines are the bathymetry contour lines, and the black arrows represent the wave direction at the model grid nodes.

### 3 POTENTIAL LONGSHORE SEDIMENT TRANSPORT

---

#### 3.1 Background CERC formulation

Longshore sediment transport is caused by the nearshore currents generated when waves break obliquely to the coast. LST contrasts with cross-shore sediment transport, which is more relevant during storms, when higher waves disturb the equilibrium beach profile. LST is relevant over long temporal scales, extending from seasons to decades. Longshore sediment transport rates are therefore often assessed in terms of sediment volume transported per year, with a distinction between gross and net transport. The gross longshore sediment transport is a sum of the transport

independent of direction, whereas the net longshore sediment transport includes the sum of directions.

The potential longshore sediment transport was estimated through the CERC formulation (CERC, 1984), a widely used empirical formulation. This method was chosen to estimate the potential longshore sediment transport because of the regional scale of the present study, which prohibits a more sophisticated approach such as provided by computationally expensive 2D sediment transport models.

The CERC formulation is presented below:

$$Q_l = K \left( \frac{\rho \sqrt{g}}{16 \kappa^{\frac{1}{2}} (\rho_s - \rho) (1 - n)} \right) H_b^{\left(\frac{5}{2}\right)} \sin(2\alpha_b) \quad (\text{Eq. 1})$$

Where:  $K$  is the transport coefficient;  $\rho$  is the mass density of water;  $\rho_s$  is the mass density of the sediment grains;  $g$  is the acceleration due to gravity;  $n$  is the in-place sediment porosity (assumed to be 0.4);  $\kappa$  = breaker index (here assumed to be 0.78);  $H_b$  is wave breaking height; and  $\alpha_b$  is wave breaking angle. The LST is estimated in cubic meters *per* year. In the current work, the convention adopted for the direction of the transport is that, when looking from the shoreline towards the sea, transport to the right is positive and to the left is negative.

The  $K$  coefficient of the CERC formulation is important to the estimated transport magnitude. Several studies have shown the dependence of this coefficient on sediment characteristics (Baillard, 1985) and to the relationship between beach slope and the incoming wave steepness, known as the surf similarity parameter (Kamphuis and Readshaw, 1978). However, whenever possible, this parameter should be calibrated against observations. Also, the value of the coefficient  $K$  varies according to the statistical convention adopted to represent the wave height (significant or root-mean-squared wave height; Dean and Dalrymple, 2004).

A key limitation of the CERC formulation is that information on sediments characteristics, including their availability and granulometric distribution, are not considered. Furthermore, the transport rates are assumed to be unaffected by coastal obstructions, typically caused by hard structures.

## 3.2 Input data

### 3.2.1 Shoreline configuration

The shoreline was digitalized to a vectorial element and divided into several segments (stretches) for estimation of the longshore sediment transport was estimated. The study area coastline was divided into 1076 stretches with lengths varying according to the level of detail of the coast morphology being represented. The satellite image used for the discretization of the shoreline was a composition of the most recent available Google Earth images for the entire study area. From this shoreline discretization, the shoreline orientation was calculated by estimating the angle between the stretch of shoreline and true north.

### 3.2.2 Input waves

As presented above, longshore sediment transport rates depend on the wave breaking conditions, the breaking height, and the breaking angle (with respect to the shoreline orientation). Although SWAN can simulate the breaking process, a second approach for modelling the breakers was adopted to account for the total dissipation due to depth-induced breaking, rather than the dissipation spread

over the spectral space, as provided by SWAN. This alternative approach enabled an integrated breaking height value to be obtained instead of a breaking height relative to the different wave frequencies.

Wave information from the SWAN model was extracted at the grid nodes closest to the 6 m contour line parallel to the coastline stretches, but no deeper than 6 m. This 6 m depth was chosen to guarantee that the wave information was extracted before breaking occurs. To achieve the wave breaking characteristics, these waves were propagated towards shore using linear wave theory and breaking was considered to occur when the breaker index was greater than 0.78 (USACE, 2002).

### 3.3 Setup and Calibration of CERC

In-situ measurements of the LST rates are often scarce or non-existent and this is also the case for the Skåne-Halland coastline. The transport coefficient  $K$  is therefore given a prescribed value of 0.79, from a published measurement of LST at Skanör/Falsterbo (Hanson and Larson, 1993). The LST directions predicted by the model were validated through a comparison with areas of sediment accumulation and depletion related to hard structures along the coastline (including natural outcrops of bedrock and boulders and man-made structures such as jetties and groins). This validation was done using orthorectified color aerial photographs from 2007 (or 2009, where 2007 imagery was unavailable) and from 2018.

### 3.4 Results

The results for the LST are presented in two forms in this report, including arrows to show the net direction of the transport, with widths varying to demonstrate net sediment transport volumes scaled relative to the highest transport rate in the entire study region. Examples are shown in Figures 12, 13, and 14 for selected locations.

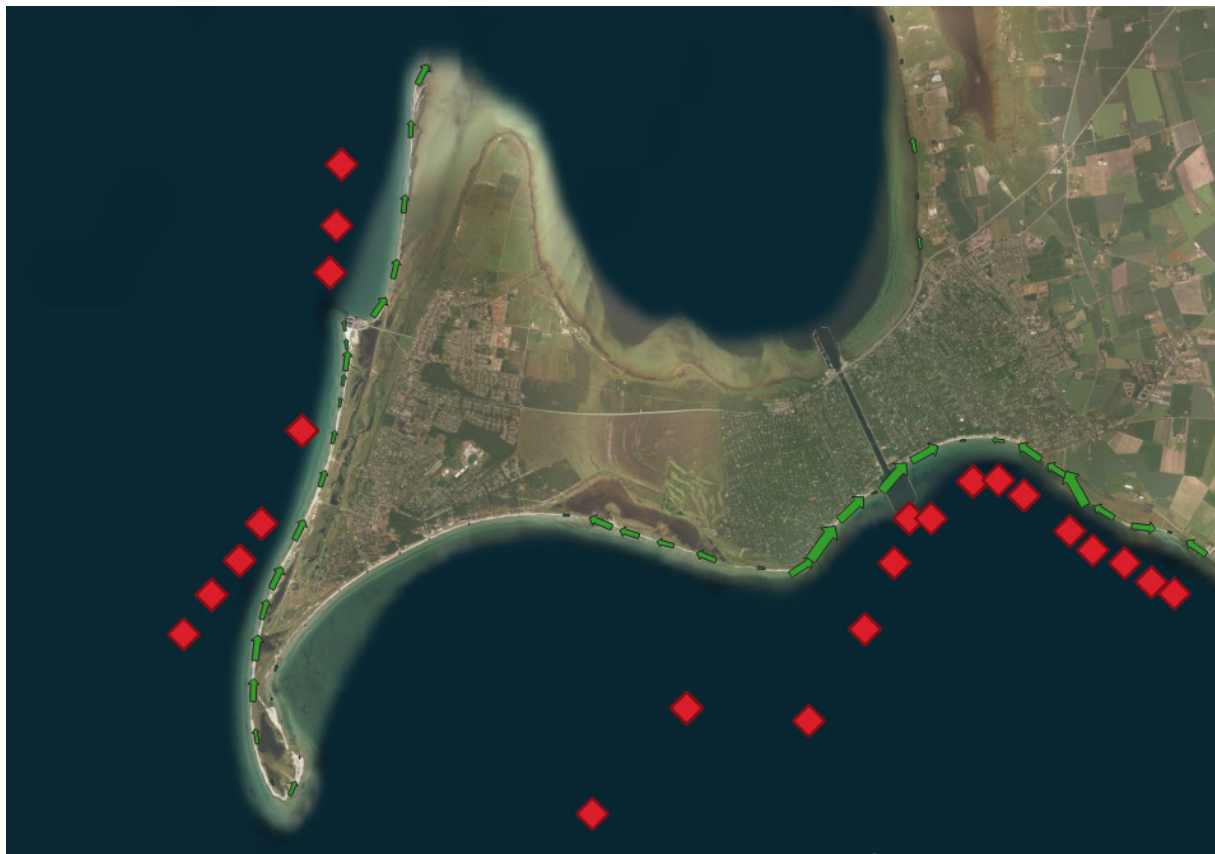


Figure 12. The results for the longshore sediment transport estimates around the Falsterbo peninsula. The green arrows indicate the modeled direction and magnitude of the net transport. The red dots indicate the wave model grid nodes where the wave information was extracted for the longshore sediment transport estimates. The colored background represents the bathymetry scaled from green (shallow) to red (deep).



Figure 13. The results for the longshore sediment transport estimates at Sandhammaren. The green arrows indicate the modeled direction and magnitude of the net transport. The red dots indicate the wave model grid nodes where the wave information was extracted for the longshore sediment transport estimates. The colored background represents the bathymetry scaled from green (shallow) to red (deep).



Figure 14. The results for the longshore sediment transport estimates at Laholmsbukten. The green arrows indicate the modeled direction and magnitude of the net transport. The red dots indicate the wave model grid nodes where the wave information was extracted for the longshore sediment transport estimates. The colored background represents the bathymetry scaled from green (shallow) to red (deep).

The longshore sediment transport was also organized by significant wave height to assess the effect of varying heights on sediment transport rates, as displayed in Figure 15 for a stretch of coastline located in the Ystad embayment.



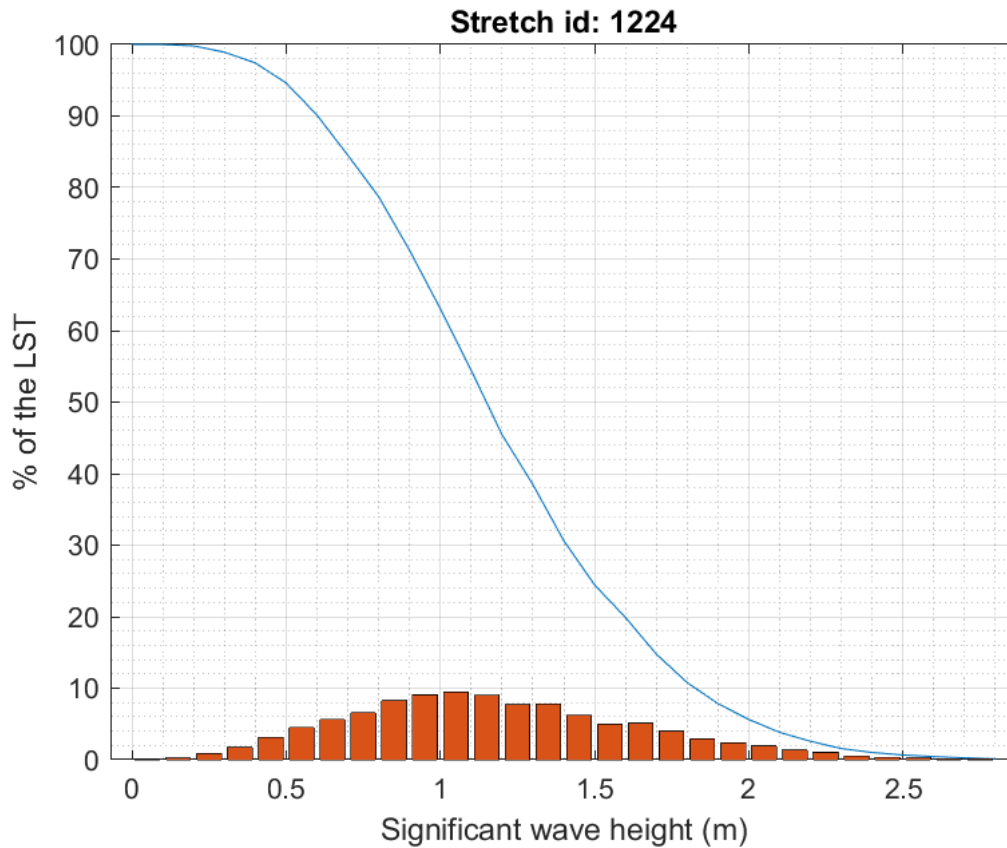


Figure 15. Example of longshore sediment transport estimates grouped by significant wave height at stretch 1224 (part of Ystad embayment). The histogram shows the range of significant wave heights and the corresponding percentage of longshore sediment transport driven by these waves. The blue curve shows the total percentage of longshore sediment transport attributable to waves higher than a given value. For example, 63% of the LST is driven by significant wave heights  $\geq 1$  m.

## 4 DISCUSSION

---

The methods applied in this study are a combination of state-of-the-art techniques for wave and longshore sediment transport modelling. These methods were chosen in consideration of the challenges of long-term and regional-scale assessment of the processes being modeled. However, the limitations of the methodology should also be considered and understood when interpreting the results. This section discusses the implications of the assumptions and idealizations underlying the methods applied.

### 4.1 Wave Model

The SWAN wave model is adapted to represent both offshore and nearshore wave propagation processes. Wave propagation in both environments was shown to be accurately simulated by the model, through comparison with available measurements. Although the model presented an overall good accuracy in wave propagation (Figures 4-9), accuracy varied across different regions of the model domain, as can be seen when comparing the validation results. The lower model precision of

nearshore wave propagation may be related to the grid resolution in this part of the model domain. Future tests with finer nearshore grids may give a better picture of the effect of the grid resolution on the model accuracy.

Another possible source of uncertainty in the model predictions may be related to the use of the wind from the ERA5 reanalysis dataset. A reanalysis dataset is derived from a methodology that involves modelling. Validation with wind gauge data is difficult to achieve, because the gauge information corresponds to a point location, whereas the reanalysis is averaged over a large area (30 km x 30 km, for the ERA5). With that caveat in mind, a direct comparison between the ERA5 dataset used in this study and measurements from the SMHI wind gauges located in the study area indicates that the largest deviations between spatially averaged and point data occur for the strongest winds. Consequently, an underestimation of significant wave heights during extreme high-magnitude events is reasonably expected. However, this underestimation is invisible in the validation of the wave model results with measurement data (Figures 4 – 9). For future investigations, it is recommended to try other reanalysis products to check whether the accuracy of the current SWAN setup can be enhanced.

Because wave direction data are sparse, the results for wave direction remain uncalibrated and non-validated in this study. However, nearshore wave direction estimates were critically evaluated at different locations for the most frequent values according to the predominant wind directions.

No input of waves was imposed at the boundaries of the model domain. The current model setup did not consider incoming waves from the North Sea through Skagerrak. This assumption seems to be reasonable for the Skåne-Halland coast, which is located south, and far to the south, of the Baltic connection with the North Sea. Furthermore, the morphology of the shelf sea located in Kattegat and Öresund imposes obstacles for wave propagation from the North Sea (including a 90-degree refraction, islands, and the narrow and generally shallow waters), likely resulting in considerable dissipation of wave energy. Accordingly, test simulations with the current SWAN setup, considering constant wave properties ( $H_s$ ,  $T_p$  and  $Dir$ ) entering from the North Sea, produced only a small increase in wave heights in the northern part of Kattegat.

Almost the whole Baltic Sea was included in the model domain, including areas that are periodically ice-covered. However, this study did not consider the effects of these periods of ice cover on the waves' generation and propagation. Consequently, winter wave heights might be overestimated because the ice cover would limit the wind fetch.

#### 4.2 Potential Longshore Sediment Transport

The adopted methodology for the potential longshore sediment transport presented several advantages for the regional scale of the estimates. Modelling LST would be highly expensive from a computational processing perspective if more sophisticated approaches were adopted. Furthermore, the 40-year time scale of simulation would make the detailed modelling of LST impractical. However, because the model of LST was broadly applied to a few hundred kilometers of coastline, it is important to have in mind some important assumptions and a possible source of errors.

The study of sediment transport has a considerable complexity that includes the feedback between the hydraulics of the coast, that causes the sediment entrainment and transport, and its morphology. In the current study, the morphology of the coast is assumed to be in equilibrium (i.e., time invariant) and the main information considered about this morphology, the shoreline orientation, was derived

from a single recent satellite image. Therefore, the long-term application of the assumption of a coastline in equilibrium contains inherent uncertainty.

The estimate of LST provided by the CERC formulation is one of potential transport. The transport coefficient ( $K$ ) was derived from only one study in one part of the region: the Falsterbo Peninsula (Hanson and Larson, 1993). Consequently, better estimates of potential sediment transport will be achieved for stretches of the Skåne-Halland coast that are similar to the Falsterbo Peninsula with respect to grain size distribution and the relationship between the incoming wave steepness and beach profile slope.

When using linear wave theory to account for wave refraction, straight and parallel topographic contour lines are assumed. However, if the nearshore bathymetry varies from this simplifying assumption, as typically is the case near river mouths, inlets, hard structures, or depending on differences of the seabed sediment composition, the accuracies of the wave breaking angle estimates and the calculated directions of the sediment transport may be adversely affected.

One of the main parameters of the CERC formula is the breaking angle with respect to the shoreline orientation. The sensitivity of the LST estimates to differences in the shoreline orientation values was assessed in a recent study (Tegenfeldt and Johansson, 2020), in which the authors used a similar approach for estimating the LST to that employed here. They concluded that small differences in the shoreline orientation angle, as occurs when assessing this angle from satellite imagery, may result in considerable changes in the LST estimate. For regions that present a morphological equilibrium, as often occurs in bays and pocket beaches, it may be difficult to determine a predominant direction for the net LST. In these regions, small values of net transport, together with the sensitivity of the formulation to the shoreline orientation values, can cause a shift in the simulated net transport direction with only a few degrees difference in the measured shoreline orientation.

## REFERENCES

---

- Bailard, J.A., 1985. A simplified model for longshore sediment transport, in: Coastal Engineering 1984. pp. 1454–1470.
- Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H., 1999. A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation. Journal of geophysical research: Oceans 104, 7649–7666.
- CERC, 1984. Shore Protection Manual. Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers ....
- Dean, R.G., Dalrymple, R.A., 2004. Coastal processes with engineering applications. Cambridge University Press.
- Hanson, H., Larson, M., 1993. Sandtransport och kustutveckling vid Skanör/Falsterbo (No. Rapport 3166). Institutionen för teknisk vattenresurslära, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund.
- Holthuijsen, L.H., 2010. Waves in oceanic and coastal waters. Cambridge university press.
- Kamphuis, J.W., Readshaw, J.S., 1978. A model study of alongshore sediment transport rate, in: Coastal Engineering 1978. pp. 1656–1674.
- Ris, R.C., Holthuijsen, L.H., Booij, N., 1999. A third-generation wave model for coastal regions: 2. Verification. Journal of Geophysical Research: Oceans 104, 7667–7681.

- Roberts, K.J., Pringle, W.J., Westerink, J.J., 2019. OceanMesh2D 1.0: MATLAB-based software for two-dimensional unstructured mesh generation in coastal ocean modeling. *Geoscientific Model Development* 12, 1847–1868. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-1847-2019>
- SWAN team, 2007. SWAN user manual. Delft University of Technology. The Netherlands.
- Tegenfeldt, N., Johansson, O., 2020. Long-term morphological evolution of Cua Lo inlet, Central Vietnam. TVVR20/5014.
- USACE, 2002. Coastal engineering manual, Engineer manual 1110–2-1100. US Army Corps of Engineers Washington, DC.

## GLOSSARY

---

Action Balance Equation - It is an equation to account for the waves transformation and propagation based on the action balance rather than on the energy balance. This equation is useful when representing wave-wave interactions and the effects of currents on the waves.

Breaker Index – The ratio between the wave height at break and the water depth.

Coefficient of Determination ( $R^2$ ) – A statistical index that can indicate how much of the variance of a variable is described by a model. In other words, it can indicate how good is the fit between model and observation.  $R^2$  equal to 1 represents a perfect fit.

Quadruplet Wave Interaction – A form of nonlinear wave-wave interaction involving four waves in deep and intermediate waters.

Third-generation Wave Model – Most advanced wave models, capable of representing quadruplet wave interactions.

Triads - A form of nonlinear wave-wave interaction involving three waves in shallow waters.

White capping – A form of wave breaking that occurs in deep water.