

# SANDBEHOV FÖR ATT MOTVERKA STRANDEROSION UTMED SKÅNES SYDKUST UNDER PERIODEN 2017–2100

Estimation of required beach nourishment volumes along the south coast of Sweden during 2017–2100

av CAROLINE FREDRIKSSON<sup>1</sup>, BJÖRN ALMSTRÖM<sup>1</sup>, HANS HANSON<sup>1</sup>,  
MAGNUS LARSON<sup>1</sup> och OLOF PERSSON<sup>2</sup>

1 Teknisk Vattenresurslära, Lunds Universitet, Box 118, 221 00 Lund

2 Sweco Environment AB, Box 286, 201 22 Malmö



## Abstract

Beach erosion is expected to increase as the sea level rises during the coming decades. A retreating coastline threatens infrastructure, settlements, nature habitats, and at the same time increases the flood risk in low-lying areas. On the Swedish south coast, beach erosion is a problem at present likely to increase due to the sea level rise. For maintaining the beaches and protecting the hinterland, beach nourishment is generally the preferred method. Cost effective and environmental friendly beach nourishment projects are dependent on marine borrow areas for sand. Outside the Swedish south coast there are several identified suitable marine sand extraction sites. Sand is, however, a limited resource and the construction industry in Sweden has begun to show interest in marine sand as material for concrete production. Therefore, the municipalities along the Swedish south coast need to quantify the expected demand for sand in order to maintain their beaches. A methodology was derived in this study to estimate the sand volume needed to maintain a beach based on the historical coastal morphological evolution and the expected increase in erosion due to sea level rise. The methodology has been applied on the Swedish south coast. Sand volume needed to maintain beaches, for a scenario where the mean sea level rises with 1 meter until year 2100 and including the observed long-term morphological evolution due to gradients in the longshore transport, is calculated to be approximately 44 million m<sup>3</sup>. The required volume corresponds to 6% of the potential volume for marine sand extraction in the area. To preserve the sandy beaches for future generations, a minimum of 44 million m<sup>3</sup> sand should be earmarked for beach nourishment purposes in the marine spatial plans.

*Key words* – Beach nourishment, Swedish south coast, beach erosion, Bruun rule, coastline changes

## Sammanfattning

Flera platser utmed den skånska kusten har idag problem med stranderosion som innebär att havet äter sig inåt land så att stränder och kustlandskap försvinner. När havet stiger förväntas stranderosionen att öka och även kuststräckor som idag inte har problem kan komma att drabbas. Då kustlinjen rör sig inåt land hotas bebyggelse, infrastruktur och naturområden, samtidigt som översvämningsrisken ökar. För att bevara stränderna och skydda bakomliggande områden är strandfodring, att sand läggs på stranden, generellt sett den bästa kustskyddsmetoden. För att strandfodringen ska kunna utföras på ett kostnadseffektivt och miljövänligt sätt bör sanden hämtas från marina sandtäkter. Utanför Skånes sydkust finns flera möjliga sandtäkter. Eftersom sand inte är en obegränsad resurs och byggindustrin börjat visa intresse för att utvinna marin sand som ballast i betong, behöver kustkommunerna kunna kvantifiera sina sandbehov för att bevara sandstränderna. I föreliggande studie har en generell metodik tagits fram för att översiktligt bedöma behovet av sand för att bevara sandstränder, där hänsyn tas till den historiska kustmorfologiska utvecklingen och till den förväntade erosionen på grund av havsmedelnivåhöjningen. Metodiken har sedan tillämpats utmed den skånska sydkusten, från Vellinge kommun i väster till och med Ystads kommun i öster. Sandbehovet har beräknats för en ökning av havets medelvattennivå med en meter fram till år 2100 och med hänsyn till nuvarande erosions- och ackumulationsförhållanden längs kusten. Totalt bedöms sandbehovet att uppgå till 44 miljoner m<sup>3</sup>, vilket motsvarar 6% av de enligt Statens Geologiska Undersökning utvinbara marina sand- och grusresurserna. För att sandstränderna, med deras natur- och rekreationsvärden, ska kunna bevaras i framtiden bör minst denna sandvolym öronmärkas för strandfodringsändamål i de statliga havsplanerna.

## 1 Inledning

Flera sandstränder längs Skånes sydkust är idag drabbade av stranderosion som innebär att havet äter sig inåt land så att stränder och kustlandskap försvinner (Fredriksson och Almström, 2012; Borell Lövestedt och Persson, 2015). Med stigande havsnivåer förväntas dessa processer accelerera och även stränder som inte har några erosionsproblem idag kan komma att påverkas (Leatherman et al., 2000). Den största delen av Skånes sydkust är exploaterad; inom hundratalet meter från strandlinjen ligger hus, ledningar och vägar som förhindrar att sandstränder kan flytta sig inåt land när kusten eroderar. Stora värden i form av bebyggelse, infrastruktur, naturområden och attraktiva sandstränder är därmed hotade.

Långsiktig stranderosion beror på att det finns för lite sand inom det dynamiska strandområde som påverkar strandlinjens läge. Underskottet av sand kan bero på att sanden har förflyttats bort längs med kusten. En sådan kustparallell sandtransport orsakas av att vågor bryter med en vinkel mot kusten och skapar en längsgående vattenström. Denna ström förflyttar de sandkorn som suspenderats (virvlat upp) av de brytande vågorna och det skapas då en sandtransport som är parallell med kusten. Eftersom den kustparallella transporten ofta varierar i styrka längs kusten skapas gradienter som eroderar sand utmed vissa kustavsnitt, medan ackumulation inträffar utmed andra.

Det sker även transport vinkelrätt mot strandlinjen som förflyttar sand inom den aktiva strandprofilen. Denna process för in sand till stranden vid lugna vågförhållanden och transporterar sand till djupare vatten vid tillfällena med kraftiga vågor. Normalt innebär den vinkelräta transporten inte att sand förloras från det dynamiska strandområdet, utan att sanden bara omfördelas inom den aktiva profilen. Undantag kan ske vid extrema vågförhållanden när sanden kan transporteras ut på sådant djup att den lämnar det dynamiska strandområdet.

Underskott av sand kan även bero på att havsnivån stiger så att sedimentbudgeten hamnar i obalans. Då eroderas sand ifrån stranden och transporteras ut på djupare vatten med den vinkelräta transporten och fyller där på havsbotten tills den åter är i jämvikt (Bruun, 1962; 1954).

Eftersom stranderosionen uppstår till följd av ett underskott på sand kan den motverkas genom att sand tillförs systemet utifrån. Strandfodring, det vill säga att sand läggs ut på stranden, är idag i många länder den föredragna kustskyddsmetoden (Hanson et al., 2002). Vid en strandfodring skyddas inte bara bebyggelsen utmed kusten, utan även de natur- och rekreationsvärden som stränder bidrar med. Vidare utgör sandstränder och sanddynor effektiva översvämningsskydd mot skador vid stormar och extrema högvatten (Dean, 1988).

Tidigare, speciellt under 1960- och 70-talen, anlades hårda kustskydd av sten och betong utmed världens kuster i form av hövder, stenskoningar, murar och vågbrytare. Dessa hårda skydd har dock ofta visat sig medföra negativa konsekvenser för såväl den naturliga sandtransporten utmed kusterna som för miljön (De Vriend et al., 2015). Dels kan närliggande områden drabbas av en ökad erosion när sandtransporten störs, dels kan erosionen öka då hårda konstruktioner reflekterar en större del av vågenergin än en naturlig sandstrand.

Trots den internationellt spridda kunskapen om de hårda skyddens negativa konsekvenser för miljön och kustlandskapet fortsätter anläggningen av framförallt stenskoningar och betongmurar utmed den skånska kusten. En förklaring till detta är att Sverige, i motsats till många andra länder, saknar en myndighet med ansvar för kustskydd (Bontje et al., 2016). Istället hamnar ansvaret oftast på den enskilde fastighetsägaren.

Strandfodring kan inte ske på fastighetsnivå, eftersom det krävs att man tar ett samlat grepp om ett större strandområde. För att skydda sammanhängande bebyggelse, kommunal infrastruktur, natur- och rekreationsområden, är strandfodring den bäst lämpade lösningen utmed Skånes sydkust. Det finns därför starka incitament för kustkommunerna att ta en samordnande roll i kustskyddsarbetet för att genomföra storskaliga åtgärder. I dagsläget är Ystad den enda svenska kommun som fodrar sina stränder med sand från en marin sandtäkt, Sandhammarbank. Men i takt med att havet stiger kommer behovet att öka även i andra kustkommuner och det är därför viktigt att säkerställa tillgången på sand för framtida strandskyddsändamål.

Sandtäkter på land är en begränsad, fossil resurs som inte sällan utgör skyddsvärda grundvattenmagasin (Nyberg et al., 2017). Med hänsyn till miljö, resurshushållning och samhällsekonomiska skäl är havsbaserade sandtäkter oftast att föredra. Det är enklare och billigare att suga upp sanden till havs och transportera den med båt eller ledning till stranden än att frakta sanden med lastbilar. En del av de havsbaserade sandtäkterna är dessutom aktiva geologiska avlagringar som fylls på efterhand, och därmed inte att betrakta som ändliga resurser.

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) har nyligen utfört en kartering av marina tillgångar för materialutvinning utmed Sveriges kust och identifierat flera möjliga lokaler för sand- och grustäkter. Syftet med karteringen har i huvudsak varit att identifiera marina täkter för ballastmaterial till den svenska byggindustrin. Utanför sydkusten pekas särskilt Sandhammarbank, Kriegers flak och Sandflyttan ut med utvinnbara tillgångar på 650 miljoner m<sup>3</sup>, 16 miljoner m<sup>3</sup> respektive 25 miljoner m<sup>3</sup> sand med hänsyn till bottenbeskaffenhet och naturintressen (Nyberg et al., 2017) (Figur 1).

I ögonblicket pågår en statlig havsplanering och Havs-



Figur 1. Karta över studieområdet där möjliga sandtäkter identifierade av SGU är markerade med kryss.

och Vattenmyndigheten ska under 2019 lägga fram förslag på havsplaner till regeringen (Havs- och Vattenmyndigheten, 2016). För att Skånes sandstränder ska kunna bevaras i framtiden bör delar av de marina sandtäkterna i dessa planer öronmärkas för strandfodringsändamål. Föreliggande studie syftar till att uppskatta behovet av marin sand för att bevara sandstränderna längs Skånes sydkust, inkluderande Vellinge, Trelleborg, Skurup och Ystads kommuner. Sandbehovet beräknas från idag fram till år 2100 med hänsyn till en havsnivåhöjning på 1 m. På grund av landhöjningen motsvarar detta en nettohavsnivåhöjning av 0,9 m längs Skånes sydkust (Persson et al., 2011).

## 2 Metodik

Volymen sand som behövs för att bevara sandsträndernas läge antas motsvara summan av de sandvolymerna som försvinner från stränderna till följd av effekter av havsnivåhöjningen och gradienter i den kustparallella sedimenttransporten. Beräkningarna förutsätter att den aktiva profilen, en bottenprofil vinkelrätt kusten, befinner sig i jämvikt. Den aktiva profilen går från vegetationslinjen på stranden ut till konvergensdjupet (på engelskan *closure depth*), som definierar var bottenivån inte längre förändras till följd av sedimenttransport driven av våginducerade strömmar (Hallermeier, 1978).

Långsiktig erosion kan även bero på att sand vid kraftiga stormar transporteras så långt ut till havs att de lämnar den aktiva profilen eller genom att flygsand blåser iväg inåt land (Lindell et al., 2017). Dessa processer bedöms dock vara av sekundär betydelse längs Skånes sydkust och inkluderas därför inte i denna studie.

### 2.1 Prioritering av stränder

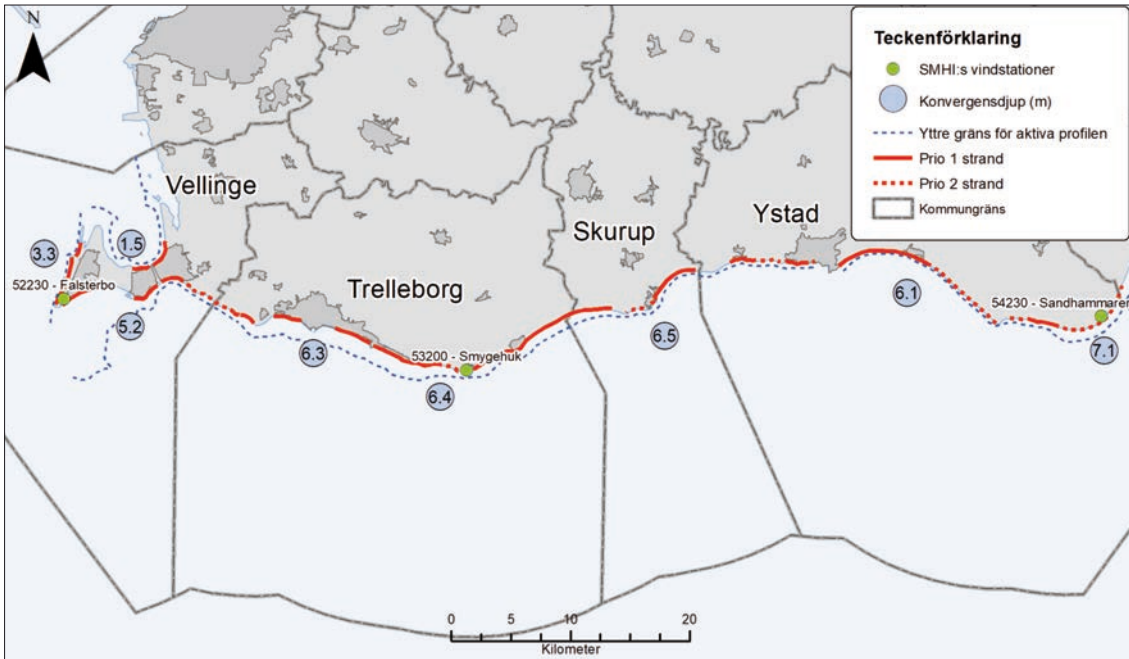
Skånes sydkust består till största delen av sandstränder och eroderande moränkust som stabiliseras av kvarliggande småsten när finmaterial sköljts ut till havs. Även under vattenytan finns det såväl sand- som moränbottnar. Det finns också kuststräckor som domineras av stenskoningar och andra hårda kustskydd. I denna studie inkluderas de stränder som bedöms vara eroderbara, även kustavsnitt med hårda kustskydd eftersom dessa inte kan förväntas fungera fram till år 2100 med hänsyn till stigande havsnivåer.

Stränderna har delats in i två klasser med avseende på prioritering för strandfodring. Prio 1-stränder utgörs av kuststräckor där stränderna har bakomliggande samlad bebyggelse, högt turist-/rekreationsvärde och/eller är viktiga som översvämningsskydd. Övriga stränder klassas som Prio 2-stränder och har bakomliggande naturområden, enstaka byggnader och vägar som kan komma att hotas av erosion, men som inte bedöms lika viktiga att skydda med strandfodring. Indelningen framgår av Figur 2.

### 2.2 Effekter av havsnivåhöjningen

När havets medelvattennivå stiger, faller större vågor in mot kusten vilket leder till ökad erosion. Sand transporteras ut från stranden och fyller på den aktiva profilen tills botten har höjts upp så mycket att ett nytt jämviktsläge inställer sig.

Strandlinjens tillbakadragning,  $R_{Bruun}$  är då en funktion av havsnivåhöjningen och den aktiva profilens lutning och beskrivs med Bruuns lag (Bruun, 1962, 1954),



Figur 2. Prioriteringsindelning och konvergensdjup utmed den studerade kuststräckan.

$$R_{Bruun} = S \frac{B}{D_C + D_B} \quad (1)$$

där  $S$  är höjningen av medelvattennivån,  $B$  den aktiva profilens bredd och  $D_C + D_B$  är den aktiva profilens höjd (Figur 3) definierad som summan av konvergensdjupet och strandplanets maximala höjd över medelvattenytan.

För att förhindra att strandlinjen rör sig bakåt behöver lika mycket sand fyllas på i profilen som annars skulle erodera till följd av Bruuns lag. Den erforderade volymen per meter strand,  $\Delta V_{Bruun}/\Delta x$ , kan då beräknas som,

$$\Delta V_{Bruun}/\Delta x = R_{Bruun} (D_C + D_B) = S \cdot B \quad (2)$$

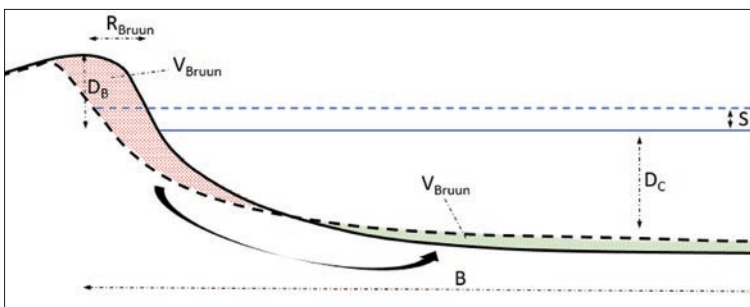
### 2.3 Konvergensdjup

Konvergensdjupet,  $D_C$  beror på vågklimatet och varierar därför utmed kusten;  $D_C$  beräknas enligt (Hallermeier, 1978),

$$D_C = 2,28H_S - 68,5 \frac{H_S^2}{gT^2} \quad (3)$$

där  $H_S$  och  $T_S$  definieras som den signifikanta våghöjd och vågperiod som överskrider 12 timmar per år och  $g$  är tyngdaccelerationen.

Konvergensdjupet har beräknats för 8 punkter utmed kusten med hänsyn till varierande vågklimat. Våghöjd



Figur 3. Schematisk bild som visar principen för hur en strandprofil reagerar på en höjd medelvattennivå.

och vågperiod beräknades med SPM-metoden (USACE, 1984) med tillägg av en minnesfunktion för att bevara vågenergin mellan tidssteg (Hanson och Larson, 2008). Som indata används interpolerade timvärden av vindriktning och vindhastighet från SMHI:s mätstationer i Falsterbo (perioden 1951–2014), Smygehuk (perioden 1951–1987) och Sandhammaren (perioden 1966–1994). I beräkningarna har vinddata använts från den mätstation som ligger närmast beräkningspunkten. Vågparametrarna  $H_S$  och  $T_S$  beräknades som ett genomsnitt av de värden som överskreds under 12 timmar respektive år.

Konvergensdjupet har omvandlats till en konturlinje utmed kusten baserat på den strandnära batymetrin som samlats in inom projektet Skånestrand (Malmberg Persson *et al.*, 2016) och som tillhandahållits av SGU. Från Ystads hamn och österut har inte den strandnära batymetrin varit tillgänglig. I dessa områden, och i de fall konvergensdjupet sträcker sig utanför den strandnära batymetrins täckning, har djupinformation från sjökortet använts. Vid Ystad och Löderup har strandprofilmätningar varit tillgängliga och använts för att förfina djupinformationen från sjökortet.

Den aktiva profilens bredd,  $B$ , beräknas från 2012 års vegetationslinje ut till konvergensdjupet (Figur 2). Vegetationslinjen markerar gränsen mellan strandplanet och bakomliggande bevuxna ytor såsom sanddyner eller strandängar. Bredden baseras på ett genomsnitt av avståndet från vegetationslinjen till konvergensdjupslinjen längs transekter med 100 m mellanrum. Oregelbundenheter i djupkonturlinjen som tydligt beror på kustparallella, istället för kustvinkelräta, processer, har filtrerats bort. I Vellinge kommun, vid Falsterbonäsens södra del, är påverkan av sandackumulatation till följd av gradienter i den kustparallella sedimenttransporten så stor att djupkonturen viker av utåt från kustlinjen. Avståndet till

konvergensdjupet blir här missvisande för syftet att bedöma erosion orsakad av havsnivåhöjningen, som drivs av processer vinkelräta mot kusten. Istället används för stränderna utmed Falsterbo och Ljunghusen samma bredd på den aktiva profilen som för närliggande Kämpinge Strandbad.

## 2.4 Effekter av gradienter i kustparallell sedimenttransport

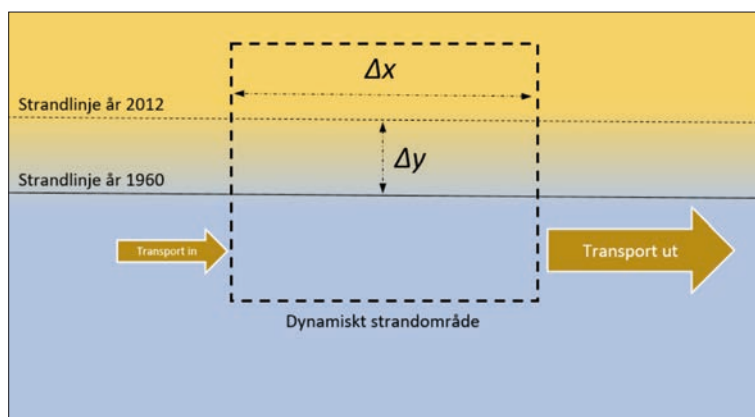
Erosion och ackumulatation till följd av gradienter i den kustparallella sandtransporten har uppskattats utifrån en förändringsanalys av ortofoton från 1960 och 2012 (Figur 4). Analysen utfördes i GIS-verktyget DSAS (Thieler *et al.*, 2009) och baseras på vegetationslinjens läge eftersom denna är mindre känslig för vattenstånds- och säsongsvariationer jämfört med strandlinjens läge. Den havsnivåhöjning som har ägt rum från 1960–2012, cirka 5–10 cm, bedöms som ringa jämfört med den erosion och ackumulatation som de kustparallella processerna ger upphov till och tas därför inte hänsyn till i analysen.

Kustlinjens årliga förändring,  $\Delta y/\Delta t$ , omvandlas till volym per meter strand per år,  $\Delta V_{LS}/(\Delta x \Delta t)$ , genom att multiplicera med den aktiva profilens höjd,

$$\Delta V_{LS}/(\Delta x \Delta t) = (D_C + D_B) \Delta y/\Delta t \quad (4)$$

där  $D_C$  är konvergensdjupet och  $D_B$  strandplanet maximala höjd över medelvattenytan. Längs Skånes sydkust uppskattas strandplanet maximala höjd,  $D_B$ , i nivå med vegetationslinjen, till cirka 2 m. På vissa platser med låg vågenergi kan denna höjd sannolikt vara mindre och på andra ställen finns högre sanddyner som kan medföra att den eroderade eller ackumulerade sandvolymen underskattas. Dessa avvikelser anses dock försumbara i den översiktliga metodiken tillämpad här.

Figur 4. Schematisk figur av ett dynamiskt strandområde. Pilarna indikerar den kustparallella sedimenttransporten och storleken symboliserar en förändring i transporten (gradient).

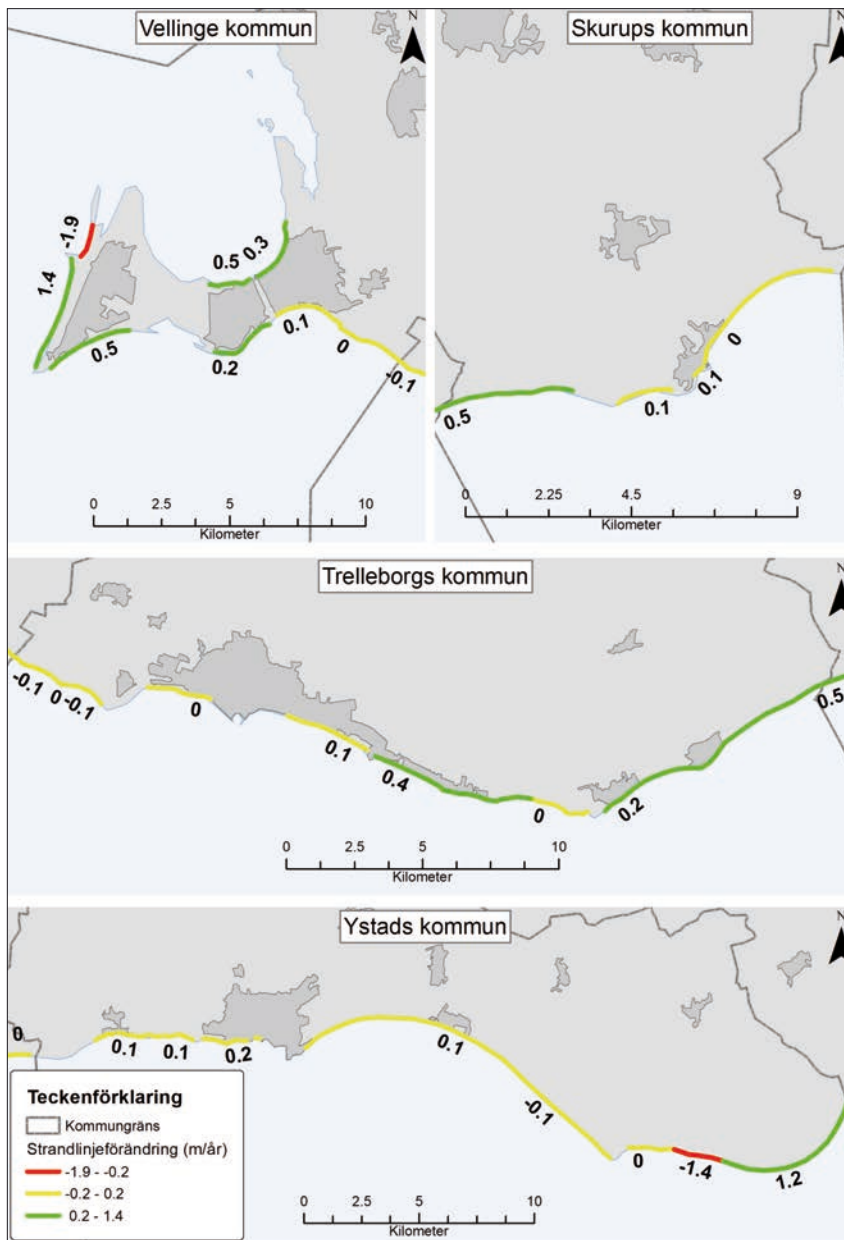


Kustlinjens förändring,  $\Delta y/\Delta t$ , definieras som negativ ifall kustlinjen rör sig inåt land och positiv ifall den växer till. På så sätt kan ackumulation av sediment till följd av en negativ gradient (transport in är större än transport ut) i den kustparallella sedimenttransporten bidra till att kompensera den erosion som uppstår när havet stiger. Resultatet av flygbildsanalysen redovisas i Figur 5.

Vid denna översiktliga analys av längre sammanhäng-

ande kustavsnitt är Skånes sydkust överlag stabil. Lokalt förekommer det dock områden med erosion och ackumulation inom de stabila kuststräckorna som på vissa platser orsakar problem.

Den observerade årliga volymförändringen per meter strand,  $\Delta V_{LS}/(\Delta x \Delta t)$ , antas i beräkningarna fortsätta fram till år 2100. De gradienter i den kustparallella sedimenttransporten som driver kustlinjens förändringar



Figur 5. Strandlinjeförändring (m/år) baserad på flygbilder från 1960 och 2012.

kan dock komma att ändras ifall vindriktningar och strandlinjens orientering förändras. Detta kan leda till en missbedömning av sandbehovet för enskilda stränder, men sett över en längre sammanhängande kuststräcka bör dessa skillnader delvis jämnas ut sig.

Även antagandet om jämviktsprofiler kan vara en felkälla i denna analys. Mätningar från Ystad har visat att den aktiva profilen eroderat mer under än över vattenytan. Samtidigt kan det finnas stränder längs kusten där det omvända förhållandet råder; profilen har ackumulerat sand under vattnet utan att kustlinjen växt ut i motsvarande grad.

I Ystad genomfördes den första strandfodringen 2011 och kan därmed ha påverkat flygbildsanalysen något. Eftersom vegetationslinjen svarar relativt långsamt på en sådan förändring kan dock effekten anses försumbar.

## 2.5 Totalt sandbehov

Sandbehovet,  $V_{tot}$ , för respektive strandavsnitt beräknas som summan av volymförändringarna till följd av havsnivåhöjningen och gradienter i den kustparallella sedimenttransporten enligt,

$$V_{tot} = \left( \Delta V_{LS} / (\Delta x \Delta t) t_p + \Delta V_{Bruun} / \Delta x \right) x_L = \left( \Delta y / \Delta t (D_C + D_B) t_p + S \cdot B \right) x_L \quad (5)$$

där  $t_p$  är antalet år, 2100–2017 = 83 år,  $S$  är den absoluta havsnivåhöjningen på 0,9 m och  $x_L$  är längden av respektive strandavsnitt.

## 3 Resultat

Det totala sandbehovet uppskattas till cirka 43,4 miljoner  $m^3$  för hela sydkusten, där behovet för prio 1-stränder är cirka 34,9 miljoner  $m^3$  och 8,5 miljoner  $m^3$  för prio 2-stränder. Resultatet presenteras kommunvis i Tabell 1 för Vellinge, Trelleborg, Skurups och Ystads kommuner.

Överlag är erosionen till följd av gradienter i den kustparallella sedimenttransporten begränsad och längs flera sträckor ackumuleras sand så att kustlinjen växer ut. För strandavsnitten Skanör Södra och Sandhammar är sandackumuleringen på grund av gradienter i den kustparallella transporten så stor att effekten av havsnivåhöjningen till fullo kompenseras. Ingen sand kommer att behöva tillföras dessa stränder för att bevara dagens strandlinje.

## 4 Diskussion och slutsatser

Beräkningar visar att nästan 44 miljoner  $m^3$  sand behöver tillföras Skånes sydkust för att bevara dagens strandlinje fram till år 2100 förutsatt att havets medelvatten-

Tabell 1. Sandbehov längs med sydkusten fram till år 2100 indelat kommunvis.

Kommun		Sandbehov fram till år 2100
Vellinge	Prio 1-stränder	5 600 000 $m^3$
	Prio 2-stränder	1 400 000 $m^3$
	<b>Totalt</b>	<b>7 000 000 <math>m^3</math></b>
Trelleborg	Prio 1-stränder	19 600 000 $m^3$
	Prio 2-stränder	2 600 000 $m^3$
	<b>Totalt</b>	<b>22 200 000 <math>m^3</math></b>
Skurup	Prio 1-stränder	3 700 000 $m^3$
	Prio 2-stränder	800 000 $m^3$
	<b>Totalt</b>	<b>4 500 000 <math>m^3</math></b>
Ystad	Prio 1-stränder	6 000 000 $m^3$
	Prio 2-stränder	3 700 000 $m^3$
	<b>Totalt</b>	<b>9 700 000 <math>m^3</math></b>

nivå stiger med en meter. Detta motsvarar ett genomsnittligt behov på drygt en halv miljon kubikmeter sand per år. Erosion till följd av gradienter i den kustparallella sedimenttransporten är begränsad till ett fåtal av de studerade kuststräckorna. Erosion på grund av havsnivåhöjningen blir därför den stora framtida utmaningen längs Skånes sydkust.

Det uppskattade sandbehovet utgör cirka 6% av de utvinnbara sandtillgångar som SGU har identifierat utmed Skånes sydkust (Nyberg et al., 2017). För att få en känsla för mängden sand, kan en jämförelse göras med Danmark där man under perioden 2007–2011 strandfodrade 2,1 miljoner  $m^3$  sand per år eller med Nederländerna där motsvarande siffra är 23,6 miljoner  $m^3$  sand per år (ICES, 2016).

Havsnivåhöjningens prognos är osäker. Den metodik som här har utvecklats kan enkelt användas för att bedöma sandbehovet för andra tidshorisonter och prognoser för havsnivåhöjningen. Vidare kan ytterligare sandmängder behöva tillföras för att minska översvämningens risker utmed kusten i de fall dagens stränder och sanddyner inte räcker till för att skydda bakomliggande bebyggelse vid stormar.

Bruuns lag är en enkel schematisering av kustens respons på stigande havsnivåer. Det bedömda sandbehovet är proportionellt mot den aktiva profilens bredd, vilket gör metoden känslig för uppskattningen av konvergensdjupet. Vidare förutsätter Bruuns lag att hela strandprofilen består av sand, att de hydrodynamiska krafter som kusten exponeras för räcker till för att förflytta strandprofilen till det nya jämviktsläget samt att det inte tillförs någon sand från området utanför konvergensdjupet (Bruun, 1962, 1954). För att minimera osäkerheterna vid tillämpning av Bruuns lag krävs regelbundna mätningar av batymetri och topografi utmed

den skånska sydkusten samt mer forskning om lokala kusthydrauliska förhållanden.

För att bevara sandstränderna längs Skånes sydkust för framtida generationer rekommenderas att marina sandtäkter om minst 44 miljoner m<sup>3</sup> sand öronmärks för strandfodringsändamål i de statliga havsplanerna. Med hänsyn till osäkerheter, både i använd metod och framtida utveckling av väderförhållanden och havsnivåhöjningen, och med tanke på ett fortsatt strandfodringsbehov även efter år 2100, bör nyttjandet av sandresurserna för andra ändamål vara restriktivt.

## Referenser

- Bontje, L., Fredriksson, C., Wang, Z., Slinger, J.H. (2016) Coastal erosion and beach nourishment in Scania as issues in Swedish coastal policy. *VATTEN – Journal of Water Management and Research* 72, 103–115.
- Borell Lövestedt, C., Persson, O. (2015) Kustförvaltningsplan för Ystads kommun. Ystads kommun, SWECO.
- Bruun, P. (1962) Sea level rise as a cause of shore erosion. *Journal of Waterways and Harbors Division*. ASCE 88, 117–130.
- Bruun, P. (1954) Coast erosion and the development of beach profiles. Beach Erosion Board Technical Memorandum. US Army Corps of Engineers. Washington, DC 44, 79 pp.
- Dean, R.G. (1988) Realistic economic benefits from beach nourishment. University of Florida, Coastal and Oceanographic Engineering Department, Report UFL/COEL, 88/009. 31 pp.
- De Vriend, H.J., van Koningsveld, M., Aarninkhof, S.G.J., de Vries, M.B., Baptist, M.J. (2015) Sustainable hydraulic engineering through Building with Nature. *Journal of Hydro-environment Research* 9, 159–171.
- Fredriksson, C., Almström, B. (2012) Stranderosion i Trelleborgs kommun – Inventering av nuvarande förhållanden och förslag till åtgärder. Trelleborgs kommun, SWECO.
- Hallermeier, R.J. (1978) Uses for a calculated limit depth to beach erosion. Proc. 16<sup>th</sup> Coastal Engineering Conference, Hamburg, Germany. pp. 1493–1512.
- Hanson, H., Larson M. (2008) Implications of extreme waves and water levels in the southern Baltic sea. *Journal of Hydraulic Research*, Vol 46, Extra Issue 2 (2008), pp. 292–302
- Hanson, H., Brampton, A., Capobianco, M., Dette, H.H., Hamm, L., Lastrup, C., Lechuga, A., Spanhoff, R. (2002) Beach nourishment projects, practices, and objectives – A European overview. *Coastal Engineering* 47, 81–111.
- Havs- och Vattenmyndigheten (2016) Färdplan havsplanering. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2016:21.
- ICES (2016) Effects of extraction of marine sediments on the marine environment 2005–2011. ICES Cooperative Research Report No. 330. 213 pp.
- Leatherman, S.P., Zhang, K., Douglas, B. (2000) Sea level rise shown to drive coastal erosion. *EOS Transactions American Geophysical Union* 81, 55–57.
- 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., Rodhe, L. (2016) Skånes känsliga stränder – erosionsförhållanden och geologi för samhällsplanering. SGU-rapport 2016:17.
- 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.
- Persson, G., Sjökvist, E., Åström, S., Eklund, D., Andréasson, J., Johnell, A., Asp, M., Olsson, J. & Nerheim, S. (2011) Klimatanalys för Skåne län. SMHI, Rapport nr 2011-52.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., Ayhan, E. (2009) Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change. U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.