

Sedimenttransport vid Skanörs norra strand

Modellering av sedimenttransport längs en bottenprofil

PM

Projekt No. 12806356

2024-12-20 – rev Aug 2025

Förberedd för: Statens Geotekniska Institut

Sedimenttransport vid Skanörs norra strand

Modellering av sedimenttransport längs en bottenprofil

PM

Projekt No. 12806356

Framtagen för: Statens Geotekniska Institut

Representerad av Sebastian Bokhari Irminger

Denna PM är framtagen inom ramen för SGI:s engagemang i Regional kustramverkan Skåne/Halland. Syftet är att bidra till ökad förståelse för morfologiska processer som påverkar kusters utveckling.

Kontaktperson: Timothy Ley, tile@dhigroup.com, +46 761164557

Kvalitetsansvarig: Sten Esbjørn Kristensen

Författare: Timothy Ley

Projekt No.: 12806356

Datum: 2024-12-20

Revision: 1.0

Klassifikation: **Open:** This document may be shared inside and outside the DHI Group entities without the client's prior approval.

Filnamn: PM Sedimenttransport Skanörs norra strand

Innehållsförteckning

1	Introduktion.....	4
1.1	Bakgrund.....	4
1.2	Modelleringsmetod för uppdraget.....	4
1.3	Processer i den grunda kustzonen.....	7
2	Modelleringsresultat	10
2.1	Sedimenttransport längs strandens djupprofil.....	10
2.2	Ackumulerad sedimenttransport.....	11
2.3	Jämviktsorientering.....	12
3	Referenser	14
Appendix A	Modelleringsparametrar LITPACK	XV

Figurer

Figur 1-1	Vågros från datapunkt hämtad längst ut på profilen.....	4
Figur 1-2	Visualisering av modellområdet runt Falsterbonäset.....	5
Figur 1-3	De viktigaste delarna i <i>LITPACK</i>	6
Figur 1-4	Illustration av längsgående sedimenttransport.	7
Figur 1-5	Balans mellan ingående och utgående sediment till ett kustavsnitt.	8
Figur 1-6	Illustration av hur orienteringen på kustlinjen definieras i $Q-\alpha$ kurvor.	9
Figur 2-1	Sedimenttransport längs profil (netto och brutto).....	10
Figur 2-2	Ackumulerad sedimenttransport över tid (netto och brutto).....	11
Figur 2-3	Netto- och bruttosedimenttransport vid kusten (per år) beroende på kustlinjeorientering.	12
Figur 2-4	Visualisering av kustlinjens nuvarande orientering och jämviktsorienteringen.	13

1 Introduktion

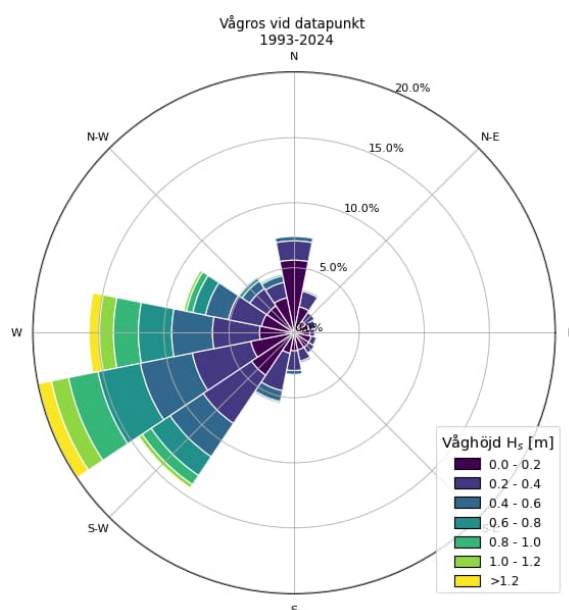
1.1 Bakgrund

Falsterbonäset västra kustlinje är dynamisk och stora förändringar av kustmorfologin har skett genom åren. Vid Måkläppen i söder har sandreveln vuxit och idag är området del av fastlandet. Längst i norr, vid Skanörs norra revel (Badreveln), har en smal sandremsa ovan vattenytan bildats och förlängts norrut. Mellan dessa två områden ligger Skanörs hamn. Söder om hamnen har sediment huvudsakligen ackumulerat genom åren. Stranden norr om Skanörs hamn har emellertid eroderat, vilket är en process som pågått sedan hamnens konstruktion på 1860-talet. Detta är en process som fortsätter än idag och har en betydande påverkan på den lokala kustmiljön.

För att förklara de morfologiska processerna och erosionen som sker norr om Skanörs hamn är det viktigt att studera jämviktsorienteringen för kustlinjen. Detta kan både ge svar på hur sediment rör sig mellan de södra och norra delarna av näset, samt hur mycket mer kustlinjen kan förväntas erodera eller ackumulera innan jämvikt nås. I detta PM presenteras resultaten för sedimenttransporten och kustens jämviktsorientering vid en profil i området (se Figur 1-2).

1.2 Modelleringsmetod för uppdraget

DHIs mjukvara LITPACK användes för att numeriskt beräkna den långsgående sedimenttransporten. Input för vågdata till modellen hämtades från LTHs (Lunds Tekniska Högskola) vågmodell framtagen av Adell et al. (2023) med uppdatering till 1 timmes tidssteg av Sukchaiwan (2023). Vattenståndsdata hämtades från SMHIs mätstation i Skanör (SMHI, n.d.). Perioden 1993–2024 (30 år) simulerades för att få en långsiktig bild av dynamiken i området. Vågklimatet från en datapunkt på profilen (cirka 6 meters djup) visas i vågrosen nedan.



Figur 1-1 Vågros från datapunkt hämtad längst ut på profilen.
Vågor från VSV dominerar, både i frekvens och i våghöjd.



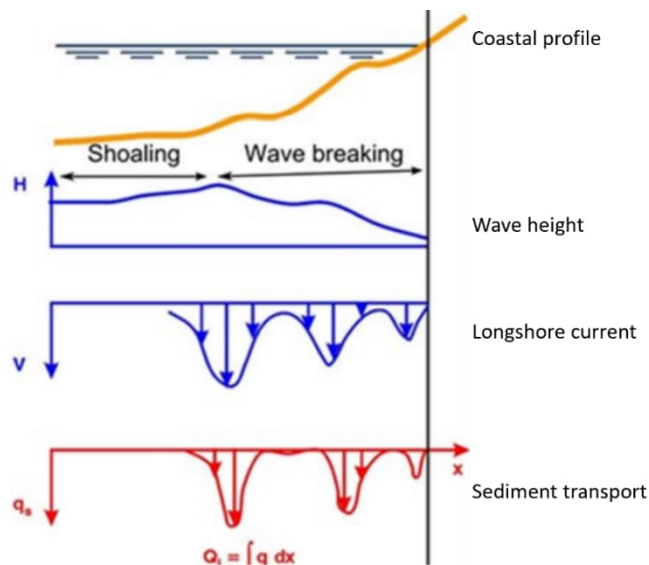
Figur 1-2 Visualisering av modellområdet runt Falsterbonäset.

Beräkningsnätet för vågmodellen från LTH (Adell et al., 2023) visas samt djupkonturen för 3 meter (rosa kontur). Extraktionspunkt för vågdata (lila prick) och SMHIs mätstation för havsvattenstånd (orange diamant) är markerade i bilderna. Bilden till höger visar en inzoomning på kuststräckan norr om Skanörs hamn med lokaliseringen av profilen som använts för simuleringen av sedimenttransport i modelleringsprogrammet LITPACK.

LITPACK

I LITPACK transformeras de kustnära vågorna in över profilen som går vinkelrätt ut från kustlinjen. Vågmonstret ger upphov till en längsgående ström och därmed längsgående sandtransport. De viktigaste delarna i LITPACK modellen illustreras i Figur 1-3 nedan. Från beräkningarna av den längsgående sandtransporten har följande resultat tagits fram:

- Transportfördelningen längs profilen
- Netto- och bruttotransporten över 30 års tid (uppvisande säsongsvariationer i den längsgående sandtransporten)
- Jämviktsriktning samt transportens känslighet för ändringar i kustlinjens orientering



Figur 1-3 De viktigaste delarna i LITPACK.

Variation över profilen beroende av: våghöjden, den längsgående strömmen och sandtransporten.

Resultaten ger sammantaget en övergripande bild av sedimentbudgeten och möjlighet att studera transportmönstret längs profilen.

Sandtransportberäkningarna understöds av observationer av kustens historiska utveckling.

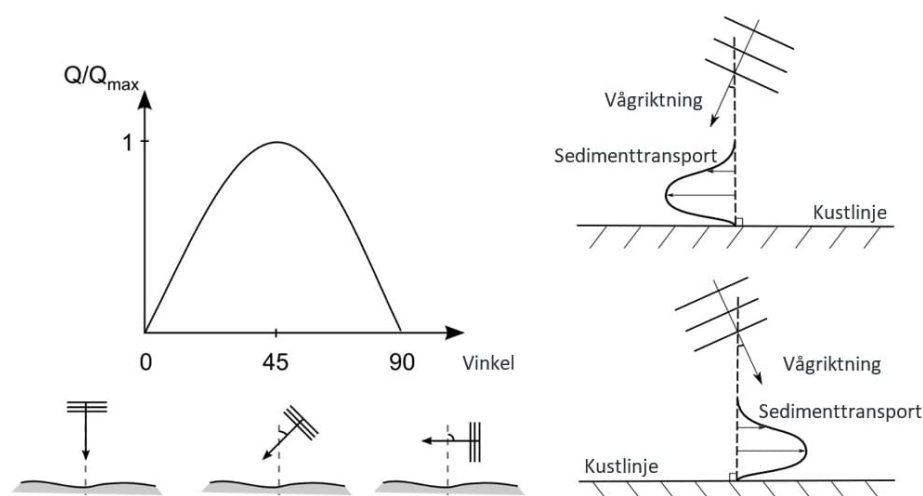
1.3 Processer i den grunda kustzonen

Kustnära sedimenttransport

Den kustnära zonen är ett dynamiskt område där sediment flyttas beroende på variationer i vågor och vattenstånd. Vågorna som kommer in mot kusten orsakar rörelser i sedimentet på botten som kan transporteras upp vertikalt i vattenkolumnen. Samtidigt genererar vågorna också horisontella strömmar som transporterar sediment i sidled längs med stranden och kusten.

Längsgående och tvärgående ström

Vågor som närmar sig kustlinjen i en sned vinkel (eng. *oblique*) driver den så kallade *längsgående* transporten (eng. *longshore*) som flyttar sediment parallellt med kustlinjen. Denna transport kallas också för den *littorala* transporten. Vinkelrätt mot den längsgående strömmen går den så kallade *underströmmen* (eng. *undertow*) som går längs med botten från stranden ut mot djupare vatten.



Figur 1-4 Illustration av längsgående sedimenttransport.

Figuren visar hur vinkeln på de inkommande vågorna påverkar riktningen och magnituden på sedimenttransporten (Q).

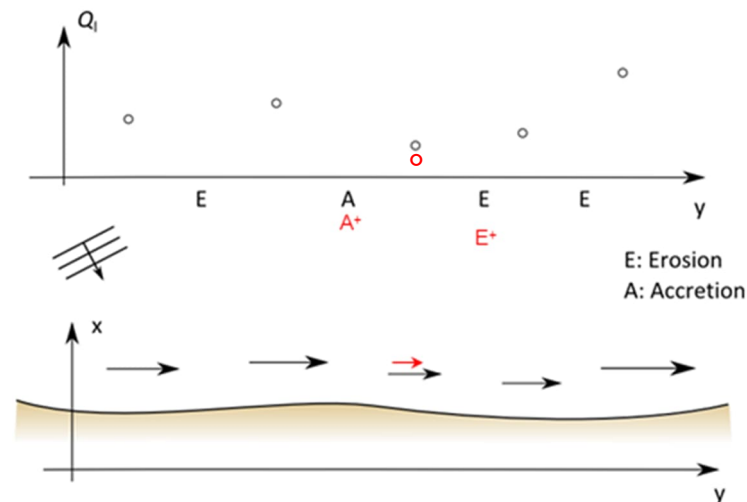
Tillsammans utgör den längsgående strömmen och underströmmen transporten av sediment vid kusten. Således är sandtransportberäkningarna traditionellt uppdelade i en *längsgående*- och en *tvärgående* transportkomponent (eng. "*longshore*" respektive "*cross-shore*").

Sedimentsystem

Sedimenttransporten i ett område begränsas till respektive så kallat *sedimentsystem*. Ett sedimentsystem är ett sammanhängande område längs kusten där sand varken tillförs eller bortförs över tid, utan enbart omfördelas inom systemet. Erosion eller ackumulation inom ett sedimentsystem påverkar följaktligen inte ett intilliggande system. Viktiga barriärer för transporten som avgränsar ett sedimentsystem är: svåreroderade bottenmaterial, större uddar, grunda eller djupa bottenar, stora utflödande vattendrag och mänskliga konstruktioner (framför allt hamnar). Dessa barriärer kan själva eller i kombination separera ett system från ett annat.

Sedimentbudget

Erosion uppstår när mängden sediment som transporteras bort från ett kustavsnitt är större än mängden som transporteras dit. Det motsatta förhållandet gäller vid ackumulation. Balansen mellan ingående och utgående sediment till ett kustavsnitt brukar benämnas *sedimentbudgeten*.



Figur 1-5 Balans mellan ingående och utgående sediment till ett kustavsnitt.

Exemplet visar att erosion/ackumulation beror på hur sedimenttransporten (Q) förändras från en del av kusten till en annan. Lokal försvagning av sedimenttransporten (Q) (indikerad med röd cirkel och pil) kommer att leda till ökad ackumulation (A) uppströms och ökad erosion (E) nedströms.

Netto- och bruttotransport

Volymen sediment som transporteras längs ett kustavsnitt brukar anges i termer av *brutto-* respektive *nettotransport*. Bruttotransporten anger *summan* av den totala volymen sediment som transporteras längs med kusten, d.v.s. i båda riktningar. Nettotransporten beräknas som *differensen* mellan transporterna i motsatta riktningar. Om till exempel 10 000 m³/år sand transporteras åt norr och 15 000 m³/år åt syd, blir bruttotransporten 25 000 m³/år (ingen riktning) och nettotransporten 5 000 m³/år åt syd. Bruttotransporten är följaktligen alltid större än nettotransporten. För att utreda påverkan på erosion/ackumulation är det i huvudsak nettotransporten som är relevant att studera. Detta eftersom riktningen på sedimenttransporten behövs för att kvantifiera mängden sediment som har flyttats från en plats till en annan över en given tidsperiod.

Erosion

Erosion delas vanligtvis upp i typen *kronisk* respektive *akut* erosion.

Kronisk erosion

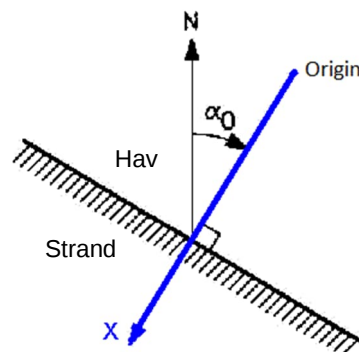
Kronisk erosion sker över en längre tidsskala och är oftast beroende på den *längsgående* transporten. Denna beror i sin tur på övergripande vind- och vågförhållanden i området. Den geografiska orienteringen av kustlinjen i relation till den dominerande riktningen på vinden/vågorna har stor betydelse för den kroniska erosionen.

Akut erosion

Akut erosion av stränder (och potentiellt av sanddynssystemet) sker vid oväder och stormar då vattenståndet är högt och vågorna är stora, vilket leder till så kallad våguppspolning på stranden. De starka utåtgående bottenströmmar tar då med sig sediment. Denna typ av erosion kan ske relativt snabbt under enskilda stormar. Under följande lugna/normala väderförhållanden kan sedan den tvärgående transporten flytta tillbaka sanden till stranden (och vind kan blåsa upp sanden på dynerna). Den tvärgående transporten leder således till ett cykliskt beteende där stranden (och eventuellt sanddynerna) degenererar och regenererar under årstiderna. Detta kräver en viss mängd buffert i bredden av stranden och hos sanddynerna för att klara av denna dynamiska variation över åren.

Jämviktsorientering och $Q\alpha$ -kurva

Kustens jämviktsorientering definieras som den riktning där den längsgående nettotransporten är noll. Kustlinjen kommer att ställa in sig i denna riktning om den längsgående transporten blockeras och jämviktsorientering är därför avgörande i samband med diskussionen om lösningsförslag till kustskydd. Relationen mellan kustens orientering och sedimenttransporten kan analyseras genom att göra så kallade $Q\alpha$ kurvor, där Q betecknar sedimenttransporten och α är kustens vinkel relativt nordlig riktning (d.v.s. 180° = kusten går i öst-västlig (horisontell) riktning, med hav i söder och land i norr). När kusten är helt parallell mot de inkommande vågorna är $Q = 0$ i en $Q\alpha$ kurva. Desto längre ifrån denna stabila orientering, desto mer ökar sedimenttransporten.



Figur 1-6 Illustration av hur orienteringen på kustlinjen definieras i $Q\alpha$ kurvor.

Jämviktsprofil och DoC

Det är huvudsakligen den tvärsående transporten som påverkar formen på strandens djupprofil allra närmast kusten (bortsett från geologiska faktorer). Formen på djupprofilen kan variera en del under korta perioder, men förändringar är relativt tillfälliga och med tiden återgår profilen vanligtvis till sitt normaltillstånd - den så kallade *jämviktsprofilen* (eng. *equilibrium profile*). Teoretiskt sätt beror formen på denna profil på kornstorleken av sedimentet som bygger upp strandplanet och blir brantare ju mer kornstorleken ökar (Dean, 1987). Den så kallat *aktiva profilen* sträcker sig till det djup där vågorna inte längre påverkar sedimenttransporten. Denna punkt kallas *konvergensdjupet* och förkortas vanligtvis *DoC* (eng. "*depth of closure*") (Hallemeier, 1978; Nyberg et al., 2020). Detta djup har en viktig betydelse för att avgöra var sedimenttransporten upphör.

2 Modelleringsresultat

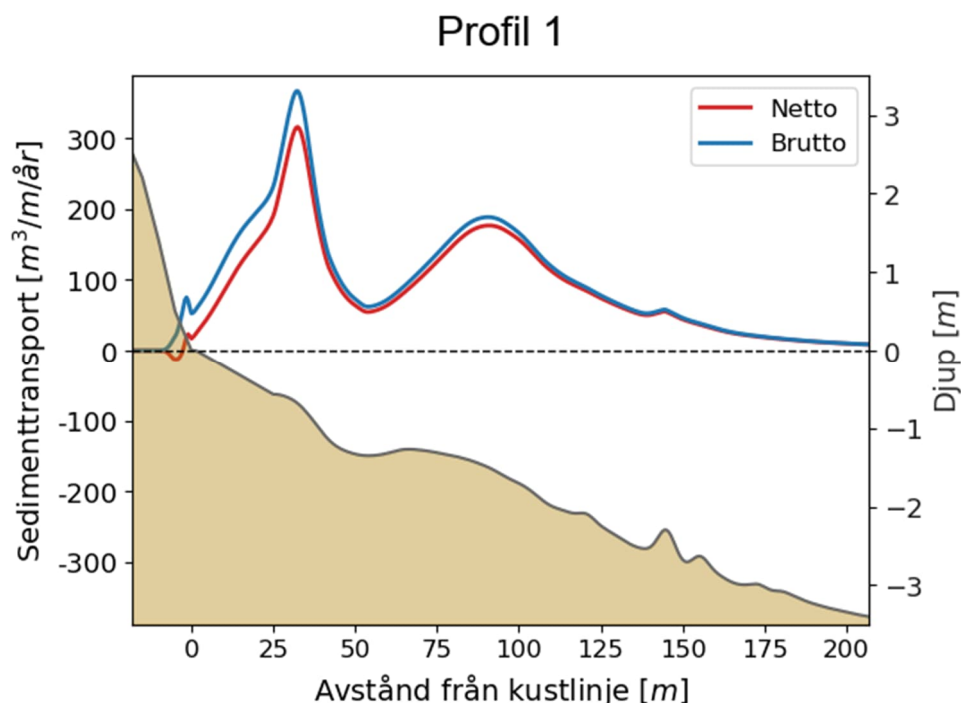
I detta avsnitt visas resultaten från sedimenttransportssimuleringarna. Notera att resultaten anger *potentiell längsgående sedimenttransport*. Detta innebär att resultaten visar en magnitud på transporten utifrån antagandet att det finns obegränsat med tillgängligt sediment för transport (d.v.s. mängden tillgängligt sediment begränsar inte erosionen). Vidare antas profilen i simuleringen vara statisk över tid, då ingen tvärgående evolution av profilen sker.

Transporten längs strandprofilen redovisas med kurva för netto- respektive bruttotransport (teoretisk beskrivning, se Avsnitt 0). Positivt värde (tecken) på nettotransporten innebär sedimenttransport åt norr och negativt värde innebär transport åt syd. Bruttotransporten är alltid positiv eftersom den är oberoende av ritning (absolutbeloppet av den totala transporten).

2.1 Sedimenttransport längs strandens djupprofil

Kurvan visar att sedimenttransporten nästan alltid sker i nordlig ritning eftersom netto- och bruttotransporten i stort sett överlappar. En liten variation i riktningen på transporten kan ses närmast kusten, där skillnaden mellan netto- och bruttotransport indikerar sydlig transport under vissa förhållanden.

Konvergensdjupet (DoC) ligger på cirka 3 meter djup eftersom sedimenttransporten enligt resultaten nedan upphör här. För denna profil sker transporten något uppdelat på en yttre revel (cirka 1,5 meters djup) och inre sektion (cirka 0,5 – 1 meters djup).

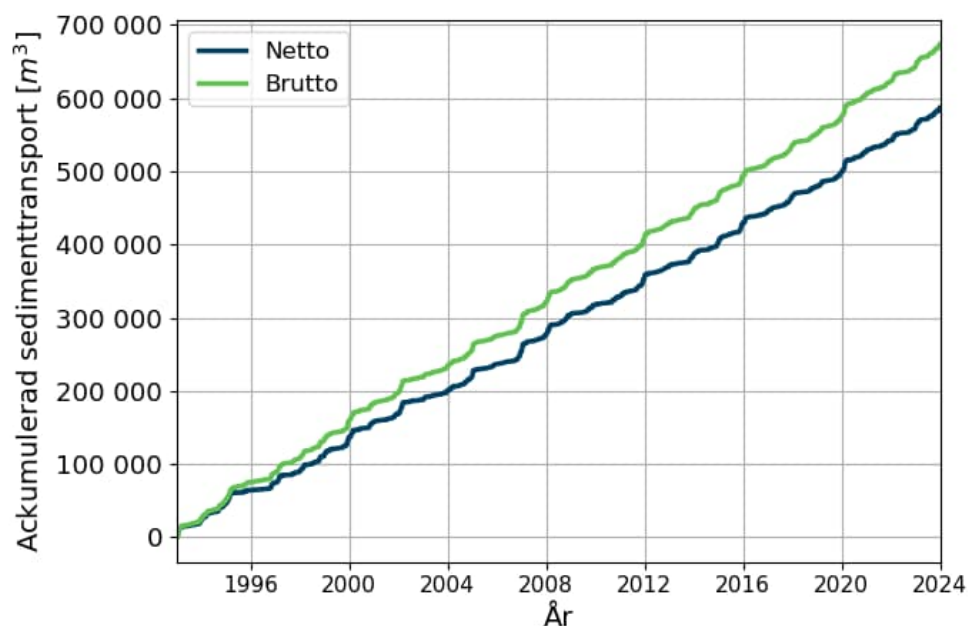


Figur 2-1 Sedimenttransport längs profil (netto och brutto).

Positivt värde på nettotransporten innebär transport norrut och negativ transport söderut.

2.2 Ackumulerad sedimenttransport

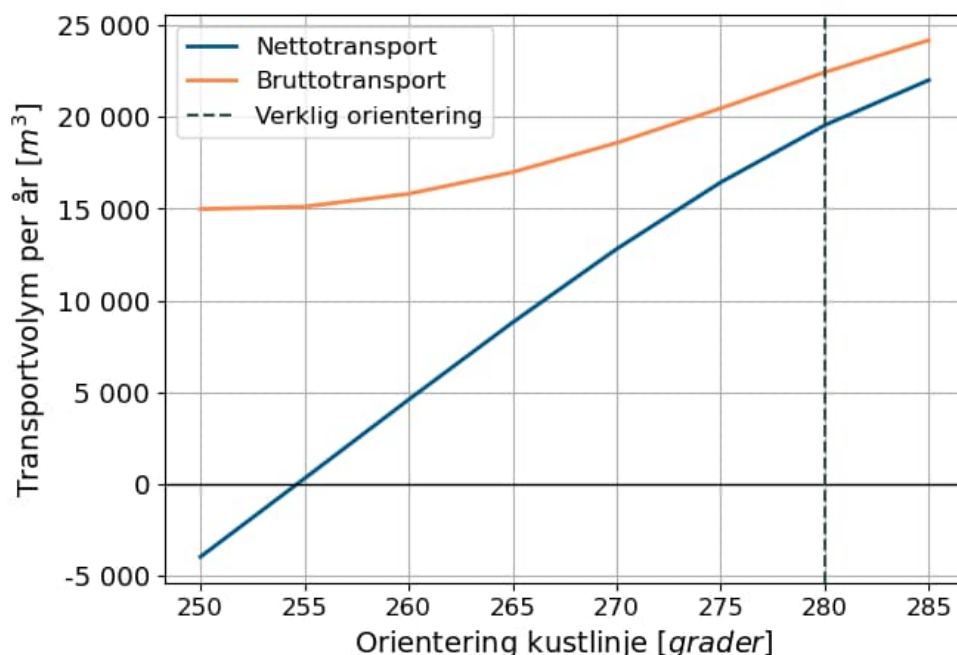
Kurvan visar att sedimenttransporten nästan alltid sker i nordlig ritning eftersom netto- och bruttotransporten i stort sett överlappar. Över 30 års tid sker totalt en potentiell transport på cirka 600 000 m³, vilket motsvarar ett genomsnitt på 20 000 m³ per år. Som kunde ses i Figur 2-1 i föregående resultat sker en stor del av transporten längre ut från kusten (75–125 meter ut, motsvarande cirka 1,5 meters djup). Denna transport observeras vid kusten först när jämviktsprofilen ställer in sig genom tvärgående transport (teoretisk beskrivning, se Avsnitt 0).



Figur 2-2 Ackumulerad sedimenttransport över tid (netto och brutto).

2.3 Jämviktsorientering

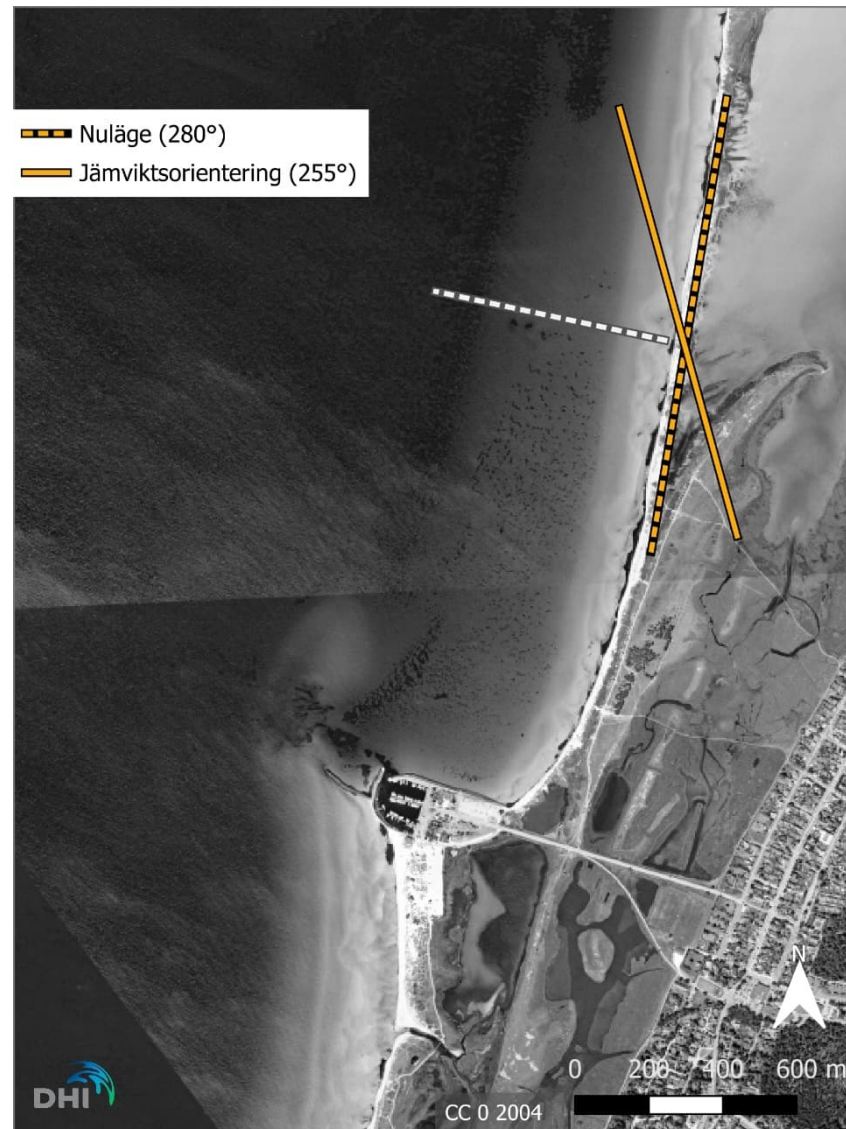
Resultatet för jämviktsorienteringen visar att kustlinjen i dagsläget ligger relativt lång ifrån sin jämviktsorientering ($280^\circ - 255^\circ = 25^\circ$). Om det hade funnits en stor transport av sediment in till området från söder hade kustlinjen kunnat förbli i balans trots denna orientering, men eftersom hamnen blockerar transporten söderifrån sker erosion. Baserat på antagandet att inget tillskott av sediment kommer från söder, samt att sedimentet kan transporteras fritt norrut (ingen konstruktion som blockerar så som en hövd), kommer kustlinjen fortsätta erodera och vrida sig mot denna riktning.



Figur 2-3 Netto- och bruttosedimenttransport vid kusten (per år) beroende på kustlinjeorientering.

Mörkblå linje visar den nettotransporten och orange linje bruttotransporten närmast kusten. Den streckade linjen markerar den verkliga orienteringen av kustlinjen. Jämviktsorienteringen kan avläsas i den punkt där nettotransporten är 0 (korsar den tjockare horisontella linjen parallell med x-axeln). Negativt värde på nettotransport innebär transport åt söder och positivt innebär transport åt norr.

Bilden nedan visualiserar hur jämviktsorientering enligt Figur 2-3 ser ut på platsen.



Figur 2-4 Visualisering av kustlinjens nuvarande orientering och jämviktsorienteringen.

Resultaten understöds med flygbilder av området genom observation av ackumulationen av sediment söder om hamnen. Där ses kusten vrida sig mot jämviktsorienteringen. Emellertid kan också sediment ses passera förbi hamnen och ackumuleras ute på större djup. Detta indikerar att denna strand inte heller helt vridit sig hela vägen till sin jämviktsorientering, vilket stämmer väl överens med modellresultaten.

3 Referenser

- /1/ Adell, A., Almström, B., Kroon, A., Larson, M., Bertacchi-Uvo, C. and Hallin, C. (2023) Spatial and temporal wave climate variability along the south coast of Sweden 1959-2021. *Regional Studies in Marine Science*. 63, 103011. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103011>
- /2/ Blomgren, S. (1999). *Hydrographic and Morphologic Processes at Falsterbo Peninsula: Present Conditions and Future Scenarios*. Department of Water Resources Engineering, Lund Institute of Technology, Lund University. CODEN: LUTVDG/(TVVR-1027)/(1999).
- /3/ Hallemeier, R. J. (1978) *Uses for a calculated limit depth to beach erosion* in Proceedings of the 16th Coastal Engineering Conference, Hamburg, Germany. Vol. II.
- /4/ Nyberg, J., Goodfellow, B., Ising, J., & Hedenström, A. (2020). *Kustnära sedimentdynamik*. SGU-rapport: 2020:04. Sveriges geologiska undersökning. Tillgänglig på: https://www.sgu.se/globalassets/samhallsplanering/risker/kustnara-sedimentdynamik_sgu-rapport.pdf
- /5/ SGU (2017). *Produkt: Maringeologi 1:25 000*. Tillgänglig på: <https://resource.sgu.se/dokument/produkter/maringeologi-25000-beskrivning.pdf>
- /6/ SGU (2021). *Produkt: Maringeologi 1:25 000 WMS-tjänst*. Tillgänglig på: <https://resource.sgu.se/dokument/produkter/maringeologi-25000-wms-beskrivning.pdf> (Hämtad: 17 december 2024).
- /7/ SMHI (n.d.) *Havsvattenstånd: Rådata från mätstationer*. Tillgänglig på: <https://www.smhi.se/data/oceanografi/ladda-ner-oceanografiska-observationer/sealevelrw/30488> (Hämtad: 17 december 2024).
- /8/ Sukchaiwan, E. (2023). *Dune Erosion on the Falsterbo Peninsula*. TU Delft. <https://resolver.tudelft.nl/uuid:f392d303-dc5c-49ee-ae6c-ae9c40bd92d3>

Appendix A Modelleringsparametrar LITPACK

Appendix A.1 Randvilkor

Randvillkor för vågklimat är hämtade från LTHs vågmodell. Dessa är extraherade i punkt med koordinat (55,4288; 12,8293) i den yttre delen av strandprofilen på ca. 6 meters djup. För data om kalibrering och validering av vågmodellen se (Adell et al., 2023). Data för vattenstånd är hämtat från SMHIs mätstation i Skanörs hamn. Denna mätstation ligger mycket nära datapunkten för vågmodell och bör representera vattenståndet väl.

Djupdata längs profilen har tillhandahållits från SGU och utgår från mätning med 1x1 meters upplösning år 2012.

Appendix A.2 Sedimentparametrar

Sedimentdata har baserats på mätningar i närområdet utförda av Blomgren (1999). Mätningarna i punkt 3a och 3b enligt tabellen nedan (hämtad från Blomgren (1999)) är från de västra delarna av Falsterbobukten. Dessa punkter ligger närmast den undersökta bottenprofilen. Antagandet har därför gjorts att $d_{50} = 0,2$ mm. Denna kornstorlek är nära den som finns i Lommabukten. Av denna anledning har graderingstalet $\sigma_g = \sqrt{d_{84}} / \sqrt{d_{16}}$ satts till samma värde (=1,6) som för tidigare studie utförd av DHI i Lommabukten.

Table 7. Median grain-size along the south coast.

Location	1a	1b	2a	2b	3a	3b
d_{50} (mm)	0.23	0.19	0.33	0.29	0.20	0.19

Figur A-1 Kornstorlek (d_{50}) hämtad från Blomgren (1999).

SGUs maringeologikartor över området visar att finsand dominerar närmast kusten. Längs kusten norr om Skanörs hamn övergår bottenmaterialet enligt karteringen till sand och grus på cirka 1,5 meters djup. Söder om hamnen finns emellertid mer finsand tillgängligt och där övergår bottenmaterialet till sand och grus först på cirka 3 meters djup.

Av denna anledning är den verkliga sedimenttransporten troligtvis mindre än den potentiella norr om hamnen eftersom mängden tillgängligt sediment är mer begränsad och kornstorleken för sedimentet på större djup ökar. Detta gör att det krävs mer vågenergi för att mobilisera sedimenten.

Områdena för finsand i norr respektive söder stämmer väl överens med resultaten som presenterats i Avsnitt 2.1. Enligt resultaten sker den huvudsakliga transporten på djup grundare än 1,5 meter, medan konvergensdjupet (DoC) ligger på cirka 3 meters djup. Söder om hamnen tycks sedimentsystemet därmed mättat, eftersom det finns fritt transporterbart sediment (finsand) hela vägen till DoC. Norr om hamnen är det rimligt att det finns mindre sediment på dessa djup, eftersom här sker kronisk erosion vilket gör att det finns ett underskott på sediment på större djup.



Figur A-2 Karta över maringeologi (Bottenmaterial, dominerande översta metern, Maringeologi 1:25 000) (SGU, 2021).

Närmast kusten finns postglacial finsand som sedan efterföljs av postglacial sand och grus på större djup.