
RAPPORT

SPV PROJEKTTJÄNSTER AB

Design av utökad strand vid Västra stranden, Trelleborg

UPPDRAGSNUMMER 13007465



2019-10-04 REV. 2019-11-08

MALMÖ KUST OCH VATTENDRAG

SWECO ENVIRONMENT AB

**UPPDRAGSLEDARE:
HANDLÄGGARE:**

**OLOF PERSSON
EMANUEL SCHMIDT**

KVALITETSGRANSKARE:

**CHARLOTTA LÖVSTEDT
HANS HANSON**

Sammanfattning

Området väster om dagens hamnområde i Trelleborg planeras att omvandlas och exploateras. I gränslinjen mellan den planerade stadsdelen Västra Sjöstaden och havet ligger idag Västra stranden med ett smalt strandplan och lokalt stora ansamlingar av tång.



Med målsättning att öka strandens attraktivitet och funktion som översvämningsskydd har Sweco analyserat förutsättningarna för att genom strandfodring utveckla och utöka den befintliga stranden i området.

I arbetet med att säkerställa den framtida strandens stabilitet, estetik och funktionalitet har Sweco arbetat fram tre alternativa strandutformningar som bygger på vedertagna principer för konstgjorda stränder. De tekniska utformningarna bygger på ett omfattande utredningsarbete av vågklimatet i det aktuella området i kombination med kusttekniska beräkningar och resonemang.

Sammanfattningsvis visar denna utredning att förutsättningarna för en större strand vid Västra stranden är goda och att anläggandet av en utökad strand kan bidra till effektivt skydd och långsiktig klimatanpassning av exploateringsområdet.

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Tidigare studier	2
1.2	Sandstränder som kustskydd	2
2	Teori	3
2.1	Principer för design av konstgjorda stränder	3
2.2	Sedimenttransport	3
2.3	Vågverkan	4
2.4	Tångtransport	5
3	Metod	6
3.1	Djupkartering och sedimentprovtagning/-analys	6
3.2	Analys av vågor, vind och vattenstånd	6
3.3	Vågmodellering med TOMAWAC	6
3.3.1	Modellområde och beräkningsnät	6
4	Förutsättningar	8
4.1	Djupförhållanden	8
4.2	Maringeologi och kornstorlek	8
4.3	Historisk erosion	10
4.4	Framtida erosionsutsikter	11
4.5	Vind	12
5	Resultat	14
5.1	Vågklimat	14
5.2	Korrelation mellan vågor och vattenstånd	17
5.3	Våguppspolning	19
5.4	Kalibrering och validering	20
6	Designkriterier	21
6.1	Vågexponering och höjdsättning	21
6.2	Tångansamling	21
6.3	Strandstabilitet	22
6.3.1	Stabila riktningar	22
6.3.2	Strandfodringsmaterial	22
6.3.3	Sedimenttransport och erosion	23
6.4	Genomförande	24
7	Möjliga strandutformningar	26

7.1	Alternativ A	26
7.1.1	Volym och grov kostnadsuppskattning	27
7.2	Alternativ B	27
7.2.1	Volym och grov kostnadsuppskattning	28
7.3	Alternativ C	28
7.3.1	Volym och grov kostnadsuppskattning	29
7.4	Sammanvävd bedömning av alternativ	29
7.5	Avslutande hövd	30
7.6	Delvis utfyllnad med annat material	30
7.7	Ytterligare omständigheter att beakta	31
7.7.1	Drift och underhåll	31
7.7.2	Framtida sandbehov	31
7.7.3	Dagvatten	32
7.7.4	Stenrader	33
7.7.5	Bryggor och övriga konstruktioner i vattenområdet	34
7.8	Tillståndsprocesser	34
8	Slutsatser	36
9	Referenser	37
	Teknisk bilaga 1 – Strandprofiler	37
	Teknisk bilaga 2 – Modellvalidering	40
	Teknisk bilaga 3 – Framtida sandbehov	42

1 Inledning

Västra stranden i Trelleborg är ett område som sträcker sig mellan Stavstensudde och den västra delen av Trelleborgs hamn. Delar av området karaktäriseras idag av industri-lokaler och hamnverksamhet på äldre utfyllnadsmark men på sikt planeras en omvandling av området under projektnamnet Västra Sjöstaden.

Dagens strandplan är smalt och består delvis av grovt sediment, sten och block (Figur 1-1 t.v.). Området har länge karaktäriserats av stora tångansamlingar som lett till en oangenäm lukt när tången fastnar i strandkanten och ruttnar (Figur 1-1 t.h.). För att öka attraktiviteten av kustremsan och minska översvämningsrisker i området önskar exploatörer och Trelleborgs kommun utreda möjligheterna för en utökad strand i området. Denna utredning syftar till att beskriva förutsättningarna, optimal design samt grova kostnadsuppskattningar för anläggandet av en utökad sandstrand.



Figur 1-1 Till vänster: det smala strandplanet i området. Till höger: tångansamling längs den aktuella kuststräckan.

Sandstränder är dynamiska system som omformas och flyttas, huvudsakligen med hjälp av krafter från infallande vågor och våggenererade strömmar. En förutsättning för design av en optimal strandfodring kräver således god kunskap om det lokala vågklimatet. I samband med tidigare utredningar (DHI, 2007 och SMHI, 2007) rörande vågklimatet längs Trelleborgs kust (se vidare nedan), har högupplöst information avseende de kustnära djupförhållandena inte funnits tillgängligt. I föreliggande utredning har djupförhållandena mätts in och modellupplösningen i det aktuella området vid Västra stranden utökats.

1.1 Tidigare studier

År 2007 genomförde konsultbolaget DHI en kustteknisk undersökning av Trelleborgs kust med avseende på erosion- och översvämningsförhållanden. Rapporten innehåller även en översiktlig utredning av möjligheterna att anlägga en konstgjord strand vid Västra stranden (DHI, 2007). Utredningen fastställer att det finns goda möjligheter att anlägga en framflyttad strand, men poängterar att de data som ligger till grund för slutsatserna är bristfälliga.

1.2 Sandstränder som kustskydd

Inför omvandlingen av Västra stranden till en ny stadsdel kommer motståndskraften mot översvämning från hav behöva förstärkas väsentligt. Dagens kustskydd utgörs av en äldre, bristfälligt konstruerad stenskonig med en övre krönhöjd på cirka +2,7 meter (RH2000).

De utformningsförslag av konstgjorda stränder som presenteras i föreliggande utredning är designade för att utgöra en viktig del av ett framtida kustskydd och klimatanpassning av Trelleborgs kommun. Strandfodring är internationellt sett en frekvent använd metod för att, ofta i kombination med andra typer av skydd, öka motståndskraften mot översvämning för kustnära bebyggelse och infrastruktur.

Endast hårda skydd likt existerande stenskonig kan på sikt leda till en fördjupning av strandplanet framför skyddet. Ett ökat bottendjup medger att vågdämpningen minskar, och större vågor än idag kan komma att träffa konstruktionen. Ett framtida vågklimat med större infallande vågor leder till att större dimensioneringskrav måste ställas på stenskoningen för att tillgodose en acceptabel vågöverspolning, både avseende stabilitet och krönhöjd.

Tillskapandet av ett brett strandplan kan effektivt och på lång sikt bidra till att dämpa infallande vågor närmast landområdet och således minska både erforderlig krönhöjd och dimensioner av bakomliggande översvämningsskydd. En strandfodring motverkar även de negativa nedströmseffekter i form av ökad erosion som hårda skydd ofta medför, eftersom strandens naturliga funktion och dynamik upprätthålls. Metoden skapar förutsättningar för naturmiljön att utvecklas samtidigt som möjligheterna för rekreation i kustområdet förbättras avsevärt.

2 Teori

2.1 Principer för design av konstgjorda stränder

Design- och konstruktionsprinciper för en optimal konstgjord strand bygger på erfarenheter från liknande konstgjorda stränder (Køge Bugt Strandpark, Amager Strandpark, Søndre Strand) samt på riktlinjer i *Shoreline Management Guidelines* (Mangor, Drønen, Kærgaard, & Kristensen, 2017). Sammanfattningsvis kan följande kriterier anses vara av störst vikt:

1. Stranden bör vara rimligt exponerad för vågor för att upprätthålla en god strandkvalitet. Vågexponeringen leder till att sanden hålls i rörelse och att avlagring av fint sediment minimeras.
2. En god vågexponering medför att våguppspolningen på stranden kan motverka alltför stor tångansamling i det grunda vattenområdet närmast stranden. Tångansamlingar i grunda vatten är svåra att rensa och leder till att tången går i förruttelse med en oangenäm doft som resultat. Med större vågkrafter kan tången istället spolas bort längs stranden eller upp på strandplanet, torka och vid behov avlägsnas maskinellt under badsäsongen.
3. Stranden ska ur ett erosionsperspektiv vara stabil. Detta uppnås genom att bygga stranden i jämviktsriktningen, det vill säga den riktning som ger noll resulterande kustparallell sedimenttransport. Teoretiskt sett är jämviktsriktningen lika med medelriktningen av infallande vågor av en sådan storlek att de mobiliserar sedimentet. För att minimera sandförluster kan fasta avslutande konstruktioner behövas, speciellt på en öppen kust.
4. Strandplanets höjdsättning bör planeras till en sådan nivå att våguppspolning medför rensning av hela strandens profil under "årliga" högvatten. En för låg höjdsättning kan medföra oönskad sandflykt medan en för hög strand inte möjliggör naturlig urtvättning av finsediment.
5. Sanden som används till utfyllnaden ska vara välsorterad marin sand med lågt innehåll av organiskt material. Sanden ska ha en mediankornstorlek på mellan 0,25 och 0,5 mm. Andelen finmaterial, grus och snäckskal ska vara så litet som möjligt, helst under 3%. För mycket finmaterial leder till icke-önskvärda volymförluster (och muddringskostnader) medan grus och snäckskal inte ger ett estetiskt tilltalande strandplan.

2.2 Sedimenttransport

När man talar om sedimenttransport i kustnära miljöer brukar man skilja på två typer av transport; *kustparallell sedimenttransport* och *kustvinkelrät sedimenttransport*.

Kustvinkelrät sedimenttransport drivs av vågor och strömmar och medför en omfördelning av sediment utmed strandens aktiva profil¹. Vid stormar och höga vattenstånd eroderas ofta strand och sanddyner och sediment transporteras ut i vattnet där det deponeras i form av revlar. Under lugnare förhållanden kan strand och dyner återuppbyggas, även om denna process generellt tar betydligt längre tid än erosionsförloppet i samband med storm. Det bör även poängteras att sand kan förflyttas utanför den aktiva profilen under extrema stormar, och räknas därmed som förlorat sediment som inte kommer att kunna återföras till stranden på naturlig väg.

Kustparallell sedimenttransport beskriver den transport av sediment som sker parallellt med stranden, vilken kan omfördela sediment längs med en kuststräcka. Denna transport drivs av vågor som faller in med en vinkel mot kusten samt av gradienter i våghöjd, vilket genererar kustparallella strömmar. Den kustparallella transporten sker huvudsakligen inom brytzone² och begränsas ofta av naturliga eller mänskligt skapade hinder såsom uddar, vågbrytare eller hamnar.

Vid återskapande eller utformning av en ny strand genom strandfodring är det av stor vikt att utreda sedimenttransportens lokala dynamik, så att den sand som läggs ut i största möjliga mån förblir på önskad plats. När mängden tillgängligt sediment ökas genom strandfodring ska det även säkerställas att ökad sedimenttransport inte leder till nedströmsproblem som exempelvis igensandning av hamnar och försämrade förutsättningar för lokal flora och fauna. Ytterligare ett användbart begrepp inom sedimenttransport är strandens *jämviktsprofil*, vilket syftar till den strandprofil (i vertikalled) som naturen utifrån lokala dess förutsättningar strävar efter att uppnå. Jämviktsprofilen för en strand kan uppskattas av det lokala vågklimatet och kornstorleken hos sedimentet, och är en viktig parameter att beakta vid stranddesign.

2.3 Vågverkan

När vågor från djupt vatten rör sig in mot den grundare kustzonen samspelar många olika fysiska fenomen som omformar vågorna. Vågornas storlek, riktning och energi i det kustnära området styrs i stor utsträckning av kustens form och framförallt av botten-topografin (batymetrin).

Vågornas egenskaper nära land beror även på rådande vattenstånd; ett högt vattenstånd medger att vågorna når längre in mot kusten innan de bryter och energin därigenom minskar. Den starka kopplingen mellan vågornas karaktäristik och sedimenttransporten medför att god kännedom av dessa processer är nödvändigt för design av en ny sandstrand.

¹ Aktiv profil innebär den del av strandprofilen där vågor kan lyfta, omfördela sediment och tvätta ur "finsediment".

² Kustområdet inom vilket brytning av vågor sker.

2.4 Tångtransport

Tång som normalt rör sig utmed en strand kan ackumuleras vid eller omkring naturliga eller byggda oregelbundenheter i kustlinjen, eller i områden där vågor och strömhastigheter är mindre än i omgivande vattenområden. En viktig förutsättning för att begränsa möjligheterna för större tångansamlingar är därmed att konstruktioner som medför reduktion av vågor eller kraftig avsänkning av strömhastigheterna ska undvikas i största möjliga mån. En öppen kustlinje medför dock inte per automatik en tångfri strand, ansamling kan ske om den kustparallella strömmen inte kan ombesörja en borttransport. Vid utformning av en ny kustlinje är det därmed viktigt att ha kunskap om vågklimatet då brytande vågor är av stor betydelse för kustströmmarnas storlek och riktning. Mängden tång och alger som når kusten kommer inte att minska men en god stranddesign kan bidra till att delvis omfördela materialet längs kusten.

3 Metod

3.1 Djupkartering och sedimentprovtagning/-analys

Inom ramen för detta projekt har en djupkartering genomförts, och i samband med denna har även kunskapen om maringeologin ökat genom provtagning av sediment. I februari 2019 utfördes sjömätning längs 36 transekter längs den aktuella kuststräckan.

3.2 Analys av vågor, vind och vattenstånd

En del av utredningsarbetet har varit att i större utsträckning skapa förståelse för hur vågor, vind och vattenstånd samspelar i det aktuella området. Denna information är inte bara av stor betydelse för utformningen av en konstgjord strand, men också för långsiktig planering och klimatanpassning.

3.3 Vågmodellering med TOMAWAC

Baserat på nya data avseende det aktuella områdets djupförhållanden, sedimentens kornstorleksfördelning inom området samt vind och vattenstånd har en detaljerad vågmodell med fokus på kustnära processer upprättats. Vågmodellen täcker in södra Sveriges hav och kust, med hög detaljeringsgrad längs sydvästkusten. Modellen har uppförts i programvaran TOMAWAC, en tredje generationens spektral vågmodell, som är en del av TELEMAT-konsortiet. Beräkningsverktyget används för att modellera vågklimat i kustområden. Modelleringen bygger på finita element-metoden och tar bland annat hänsyn till följande fysikaliska fenomen:

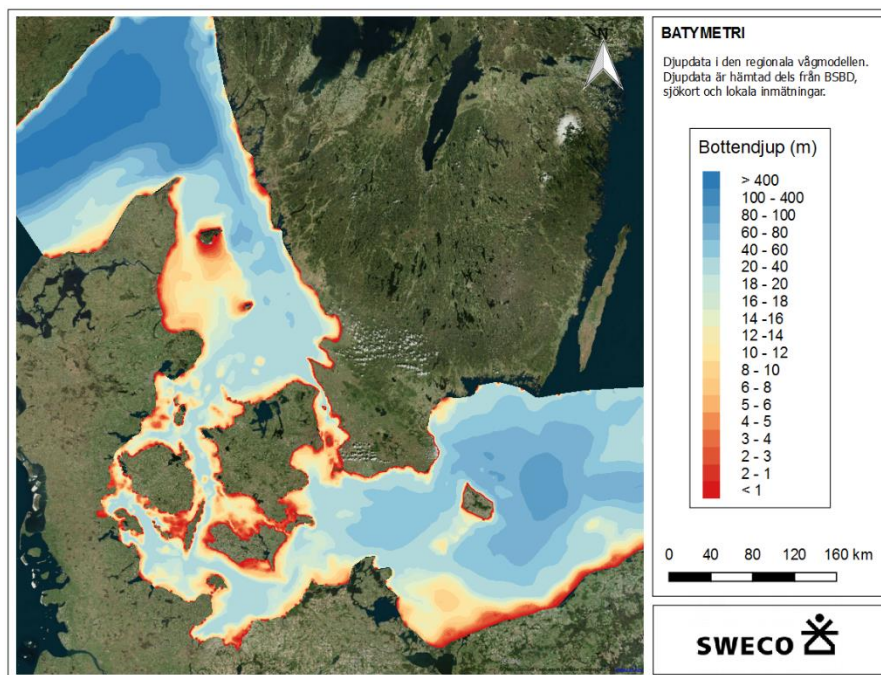
- Våggenerering av vind
- Bottenrefraktion
- Energiförluster genom brytning av vågor

3.3.1 Modellområde och beräkningsnät

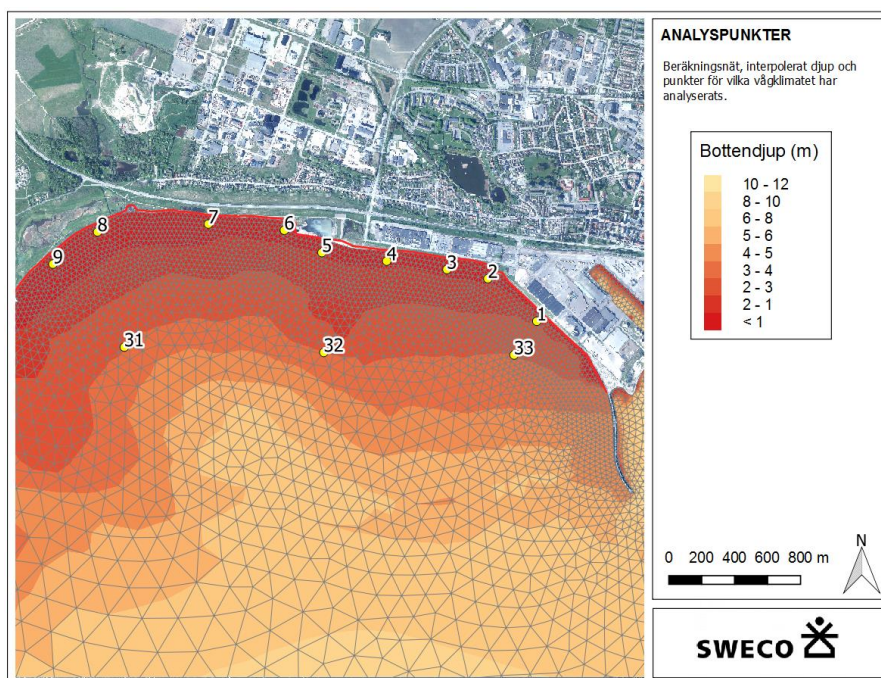
Vågmodellens geografiska utbredning täcker in Skagerrak, Kattegatt, Södra Östersjön och delar av Nordsjön. Upplösningen av beräkningsnätet varierar mellan 18 och 5 000 m där den finaste upplösningen är koncentrerad till Trelleborgs kuststräcka. I områden långt från intresseområdet är kustlinjen förenklad, men omkring Trelleborg är kustlinjens form noggrant representerad från flygfotografi med datummärkning 2017.

Modellens batymetri (djupkarta) är uppbyggt från flera olika datakällor, där den storskaliga djupinformationen är hämtad från BSBD (*Baltic Sea Bathymetry Database*) och den lokala batymetrin bygger på sjökort och sjömätning genomförd inom ramen för föreliggande uppdrag i februari 2019.

Beräkningsnät och djupdata presenteras översiktligt i Figur 3-1 och Figur 3-2.



Figur 3-1 Vågmodellens utbredningsområde. Färgerna i figuren symboliserar bottendjup.

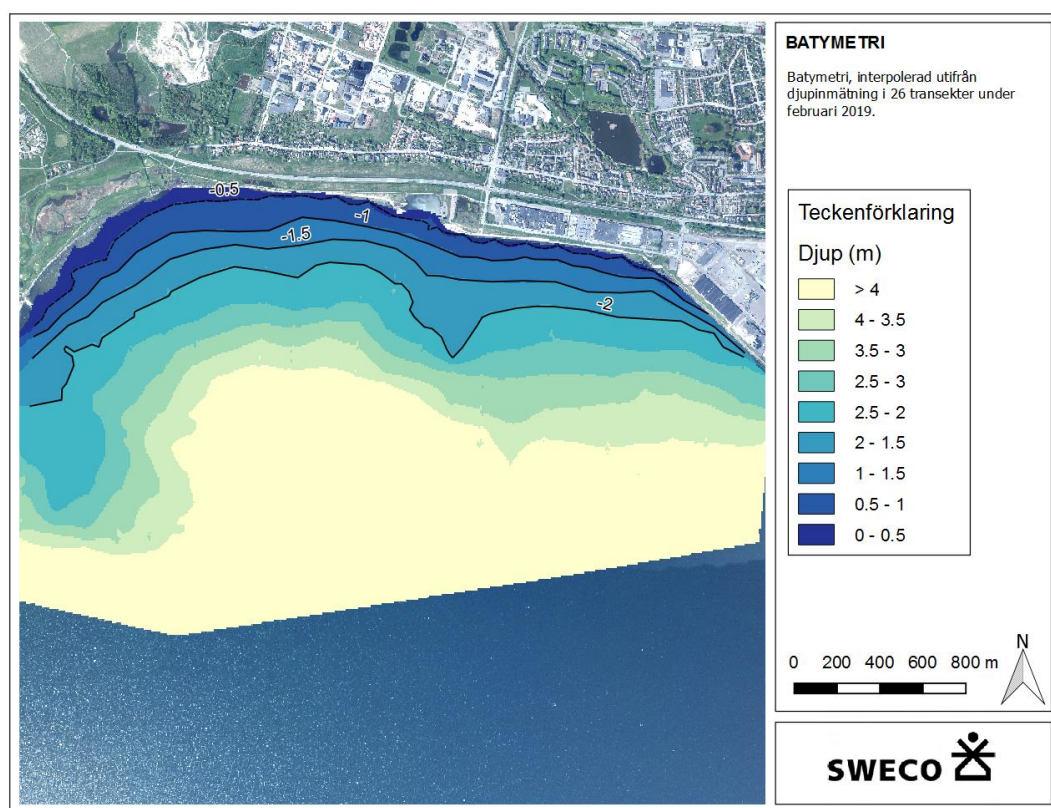


Figur 3-2 Figuren visar bottendjupet vid Västra stranden. Det triangulära beräkningsnätet har en upplösning av 18 m längs den inre delen av viken. Markerade punkter visar var resultatinformation (tidsserier av vågor) har extraherats.

4 Förutsättningar

4.1 Djupförhållanden

Västra stranden är en långgrund vik som avgränsas av Stavstensudde i väster och Trelleborgs hamns västra pirar i öster. Stranden är långgrund med en generell bottenlutning på cirka 1:150 – 1:250. I höjd med Stavstensudde i buktens västra del finns en utstickande uppgrundning och en liknande uppgrundning ses även sydost om den nedlagda småbåtshamnen centralt i området, även om denna inte är lika tydligt accentuerad. Baserat på utförd inmätning av 36 transekter i det aktuella området har en heltäckande batymetri³ interpolerats fram (Figur 4-1).



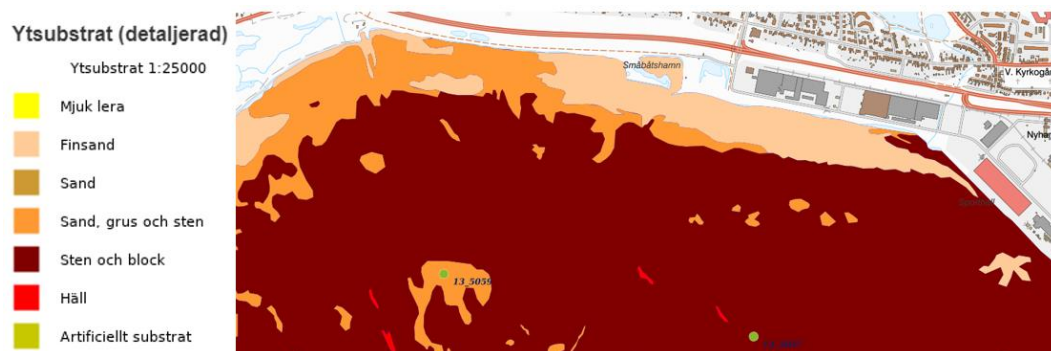
Figur 4-1 Batymetri för Västra stranden. Figuren visar ett interpolerat djup utifrån de 36 transekter som mättes in i februari 2019.

4.2 Maringeologi och kornstorlek

Enligt tidigare kartläggningar av SGU (Figur 4-2) består ytsubstratet i Västra strandens bukt huvudsakligen av material grövre än sand, med undantag för de innersta 150 – 200

³ Batymetri beskriver terrängens fysiska form under vatten och är motsvarigheten till topografi på land.

meterna; som varierar mellan finsand och sand, grus och sten (SGU, 2019). Finsand omfattar definitionsmässigt⁴ en kornstorlek mellan 0,06 – 0,2 mm.



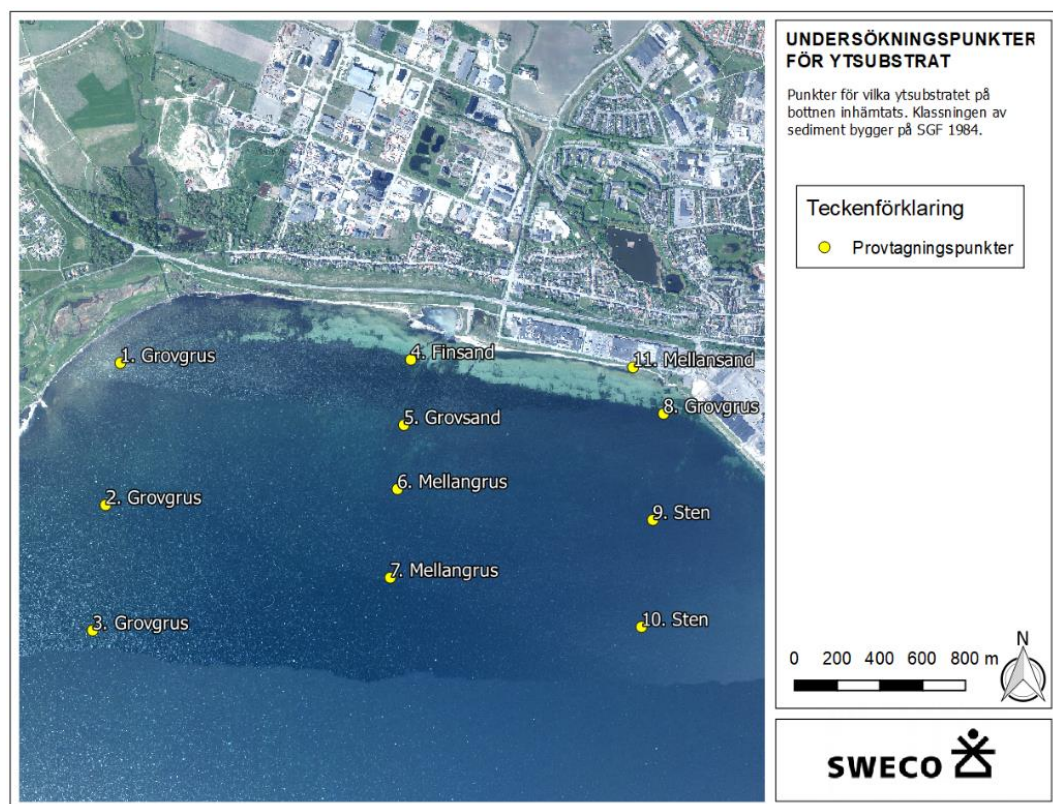
Figur 4-2 Maringeologi, ytsubstrat kartlagt av SGU.

I samband med inmätningarna av djupförhållandena i februari 2019 utfördes även en kompletterande sedimentundersökning. De tre prover som innehöll sand (provpunkterna 4, 5, 11 i Figur 4-3) siktades för att få en tydligare bild av kornstorleksfördelningen. Resultatet presenteras i Tabell 4-1.

Tabell 4-1 Kornstorlek för kompletterande sandprover.

Provpunkt	4	5	11
Kornstorlek (D_{50}) [mm]	0,18	0,82	0,37
Korngrupp (SGF1984)	Finsand	Grovsand	Mellansand

⁴ Enligt definition i SGF 1984.



Figur 4-3 Resultat från sedimentprovtagning. Notera att inga prov inhämtades vid punkt 9 och 10, resultatet bygger på visuella observationer.

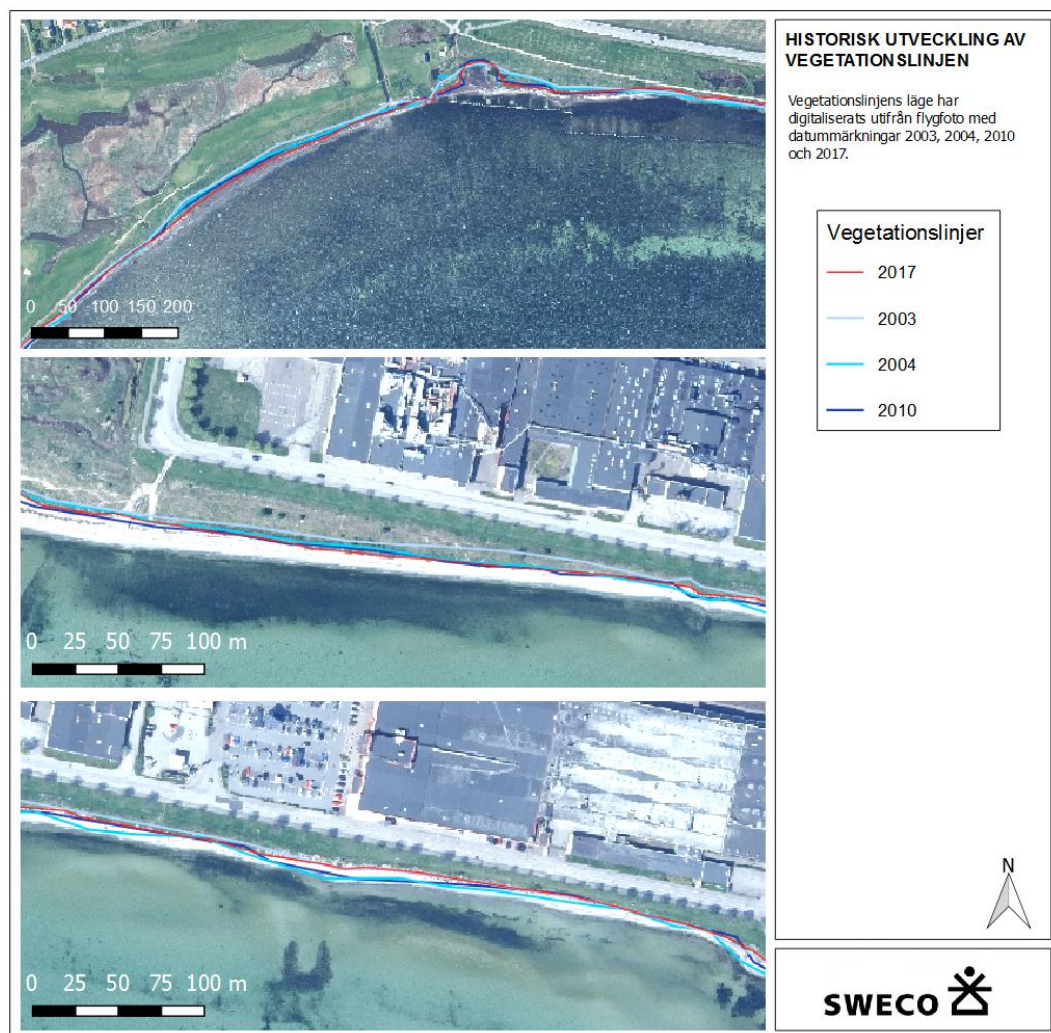
4.3 Historisk erosion

Ett effektivt verktyg för att öka förståelsen av sedimentdynamiken längs en kuststräcka är att studera strand- och vegetationslinjens läge över tid. I föreliggande utredning har flygfotografier med datummärkningar 2003, 2004, 2010 och 2017 analyserats. För att eliminera den felkälla som varierande vattenstånd vid fototillfället kan medföra, har huvudfokus lagts på vegetationslinjens utveckling. Vid stormar och höga vattenstånd kan erosion medföra att vegetationslinjen flyttas bakåt och strandplanet breddas.

Vegetationslinjens läge för respektive år redovisas översiktligt i Figur 4-4. Flygfotografianalysen ger inga indikationer på kronisk erosion⁵ längs Västra stranden. En svag tendens till reträtt av vegetationslinjen kan skönjas mellan år 2010 och år 2017, speciellt i strandens centrala delar. Denna reträtt kan dock sannolikt förklaras av att tidsperioden innehållit en hög frekvens kraftiga stormar. Ingen långsiktig erosionstrend kan därmed säkerställas statistiskt. Vegetationens återetablering beror i stor utsträckning på kommande års väderförhållanden.

⁵ Kronisk erosion innebär att sandvolymen på en kuststräcka minskar över tid till följd av transport med kustparallella strömmar.

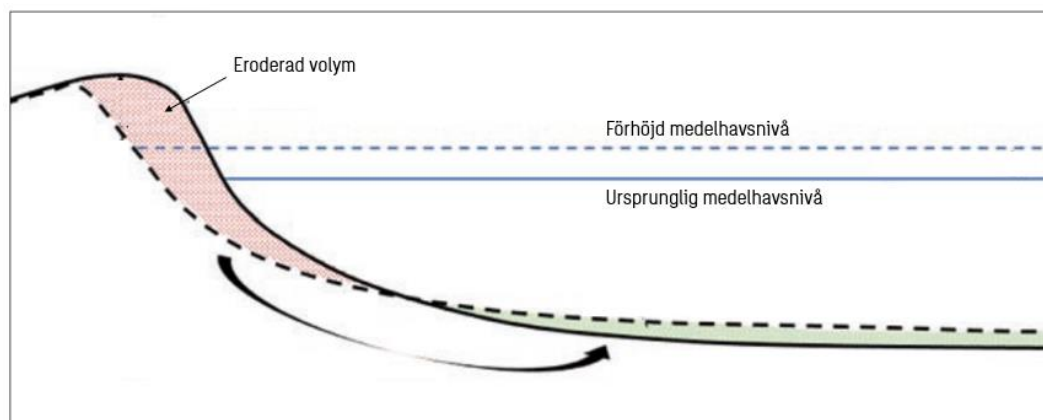
Sammanfattningsvis kan det konkluderas att de inre delarna av Västra stranden ur ett historiskt erosionsperspektiv varit stabil, och sannolikheten för förluster av sediment ut ur bukten är låg. Transporten av sand inom berört kustområde har historiskt sett enbart medfört smärre omfördelningar av sandvolym, men det bör trots det poängteras att det finns potential för årliga variationer i strandplansbredd.



Figur 4-4 Vegetationslinjeanalys av Västra stranden.

4.4 Framtida erosionsutsikter

Även om Västra stranden ur ett historiskt tidsperspektiv varit stabil kan stigande havsnivåer medföra att stranden retarderar. När havets medelvattennivå stiger, kommer sanden att omfördelas inom den aktiva strandprofilen och en ny jämvikt ställer in sig (se Figur 4-5).



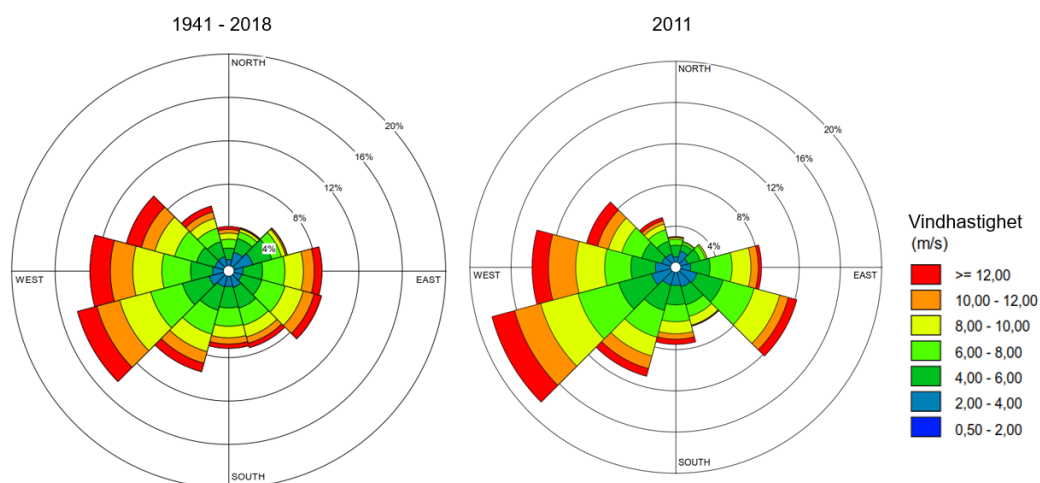
Figur 4-5 Schematiserad bild över sandstränders förändring till följd av stigande havsnivåer. Den röda volymen av sand representerar den eroderade volymen, vilken omfördelas till området markerat i grönt.

Generellt sett kommer den ökade erosionen längs Skånes sydkust leda till att havet åter sig inåt land. Om ingen återfyllnad av sand sker kommer stränder och kustlandskap att försvinna på många platser. Stigande havsnivåer medför därmed att kustsamhällen står inför ett ökande underhållsbehov av stränderna.

I artikeln "Sandbehov för att motverka stranderosion utmed Skånes sydkust under perioden 2017 – 2100" (Hallin et al., 2017) presenterar författarna översiktliga beräkningar över vilka volymer sand som bedöms krävas för att bibehålla strändernas läge och omfattning längs med Skånes sydkust. Utifrån modellerat vågklimat har sandbehovet för Västra stranden till följd av stigande havsnivåer beräknats utifrån samma metodik.

4.5 Vind

Modellen drivs av vind som genererar vågor, och för att noggrant beskriva vågklimatet är högkvalitativa vinddata av stor vikt. Vinddata har hämtats från närmast liggande vindstation med tillräcklig upplösning, Falsterbo A (SMHI, StationsID 52240). Genom statistiska analyser av dessa data har ett representativt år valts ut för att simulera det kustnära vågklimatet. Data presenteras i Figur 4-6 i vindrosformat, där varje segment representerar frekvensen av en given riktning, medan färgerna symboliserar vindstyrkan. Som syns i figuren har den representativa tidsperioden något större övervikt av sydostliga vindar än vad hela mätperioden har, vilket skapar en möjlighet att analysera strandens stabilitet under de förhållanden som är kopplade till höga vattenstånd på den aktuella platsen. Korrelationen mellan vågor och vattenstånd redovisas i kapitel 5.2. Både vindriktning och -styrka har en tidsupplösning på 60 minuter.



Figur 4-6 Till vänster visas en vindros för vindstyrka och hastigheter för tidsperioden 1941 – 2018. Till höger visas vinddata för den utvalda representativa tidsperioden, vilket motsvarar år 2011.

5 Resultat

I följande kapitel presenteras analyser av modellresultatet med syfte att skapa en större förståelse för det lokala, kustnära vågklimatet. Kapitlet är indelat i fyra underkapitel; 'Vågklimat', 'Korrelation mellan vågor och vattenstånd', 'Våguppspolning' samt 'Kalibrering och validering'.

I underkapitlet *Vågklimat* redovisas resultat från vågmodellering, med huvudfokus på medelvåghöjder, riktningar och lokala variationer.

Underkapitlet *Korrelation mellan vågor och vattenstånd* syftar till att beskriva hur vågor och vattenstånd samverkar och skapa ett underlag för bedömning av erosion- och översvämningrisker.

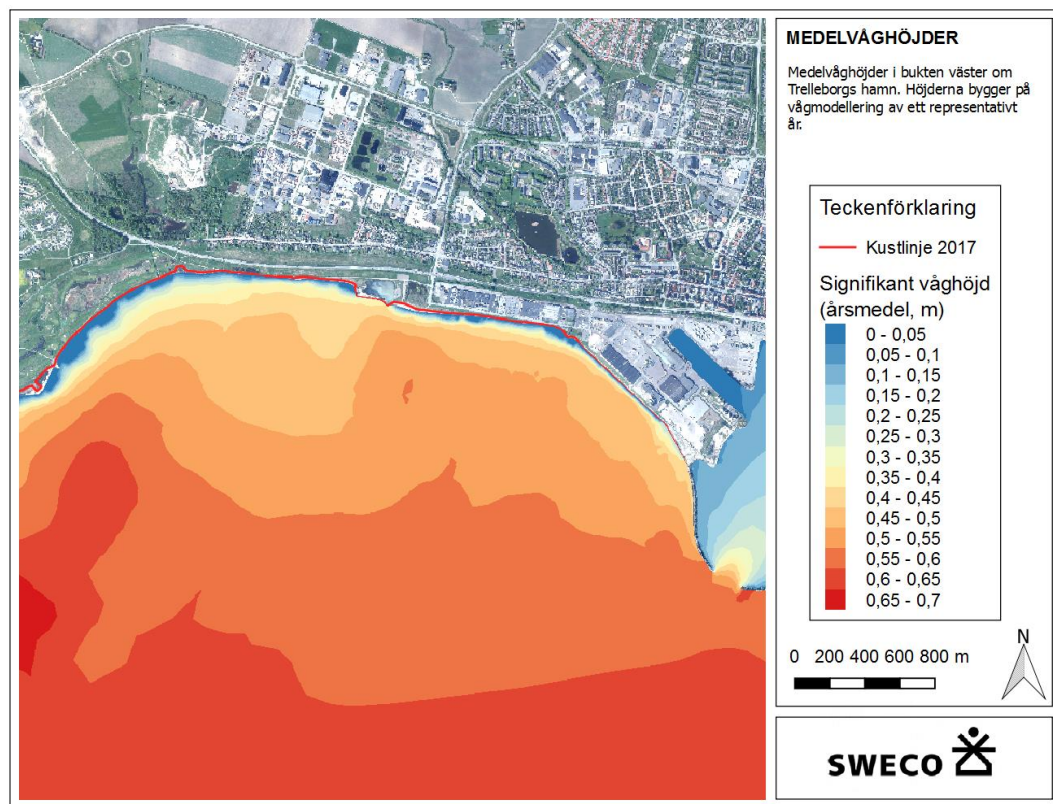
I underkapitlet *Våguppspolning* presenteras metodik för beräkning av våguppspolning samt dess betydelse för strandens höjdsättning.

Avslutningsvis, i underkapitlet *Kalibrering och validering*, presenteras resultaten från kalibrering och validering av vågmodellen.

5.1 Vågklimat

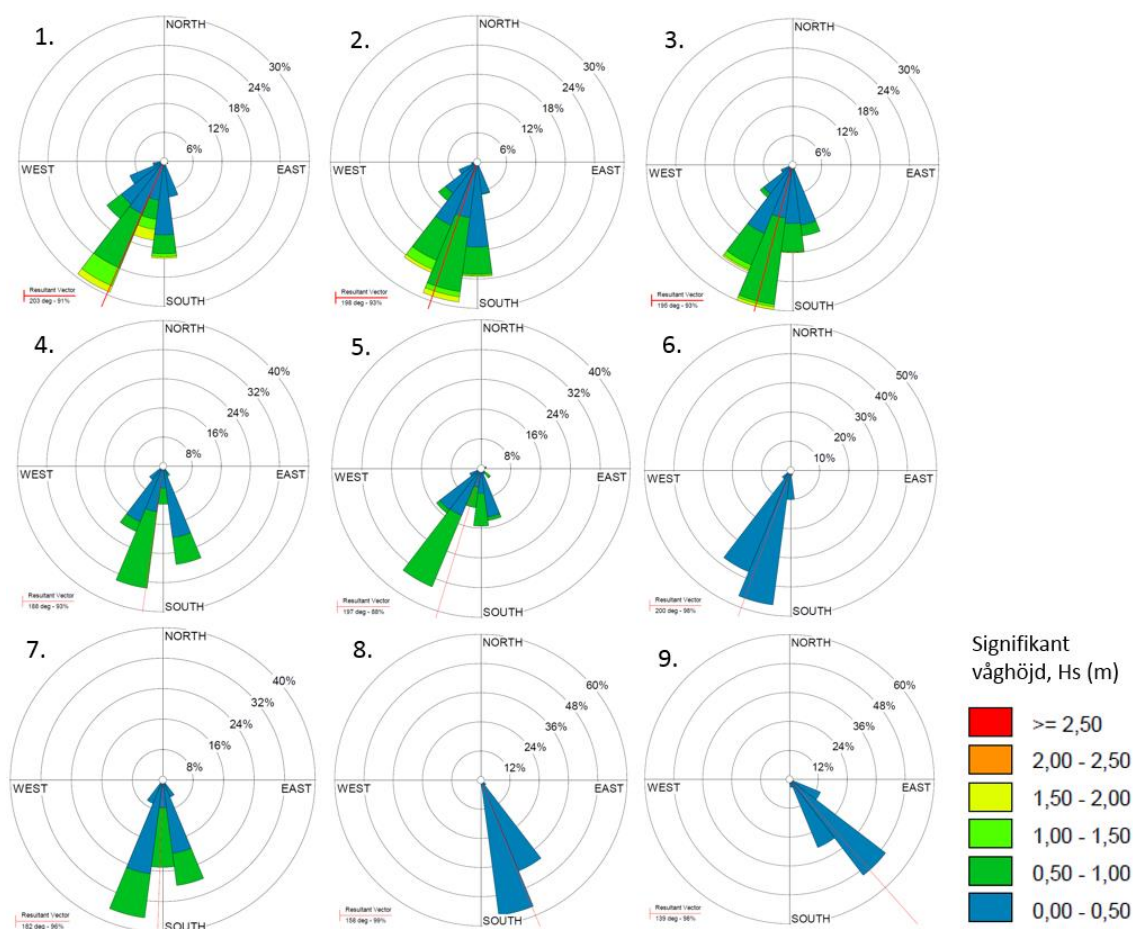
I Figur 5-1 redovisas medelvåghöjden vid Västra stranden. Då Västra stranden delvis kan ses som en strandficka⁶, med orientering mot syd så är vågexponeringen för vågor med nordlig komponent mycket liten. Medelvåghöjden har beräknats som ett medel över hela året, och ska därmed inte ses som ett "normalläge". När vågor väl förekommer i bukten är våghöjden betydligt större än figuren antyder. Utifrån figuren går det dock att utläsa att den högsta vågenergin, på årlig basis, är att förvänta i buktens östra delar.

⁶ En mindre strand omgiven på båda sidor av utskjutande kustpartier runt vilka sand inte transporteras. Jmf. med engelskans *pocket beach*.



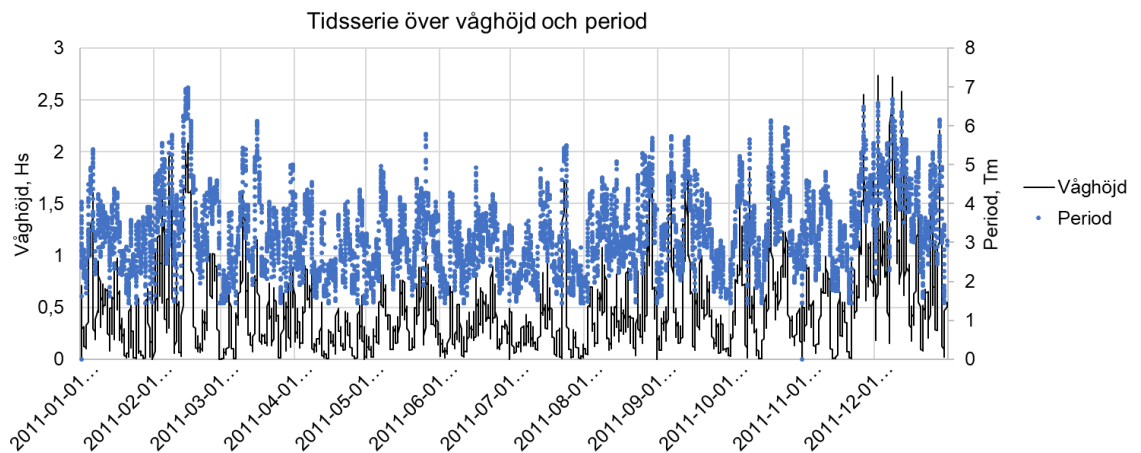
Figur 5-1 Medelvåghöjder för modellerad tidsperiod.

För att visualisera det strandnära vågklimatet har vågdata extraherats i 9 punkter med ett avstånd av cirka 40 m från dagens strandplan. Extraktionspunkternas placering visas i Figur 3-2 och i Figur 5-2 visualiseras data i vågrosor. De olika segmenten i rosen symboliserar hur frekvent vågorna kommer från en given riktning och färgerna representerar fördelningen av våghöjd. Notera att vågornas höjd i respektive extraktionspunkt till stor del styrs av vattendjupet (stort vattendjup medger större våghöjd). För varje extraktionspunkt har även en medelriktning för infallande vågor beräknats och visas som röda vektorer i varje vågros. Med undantag från punkt 4 vrids medelriktningen medurs från öst till väst. Medelriktningarna diskuteras mer ingående i kapitel 6.3.1.



Figur 5-2 Vågrosor för extraktionspunkt 1 – 9.

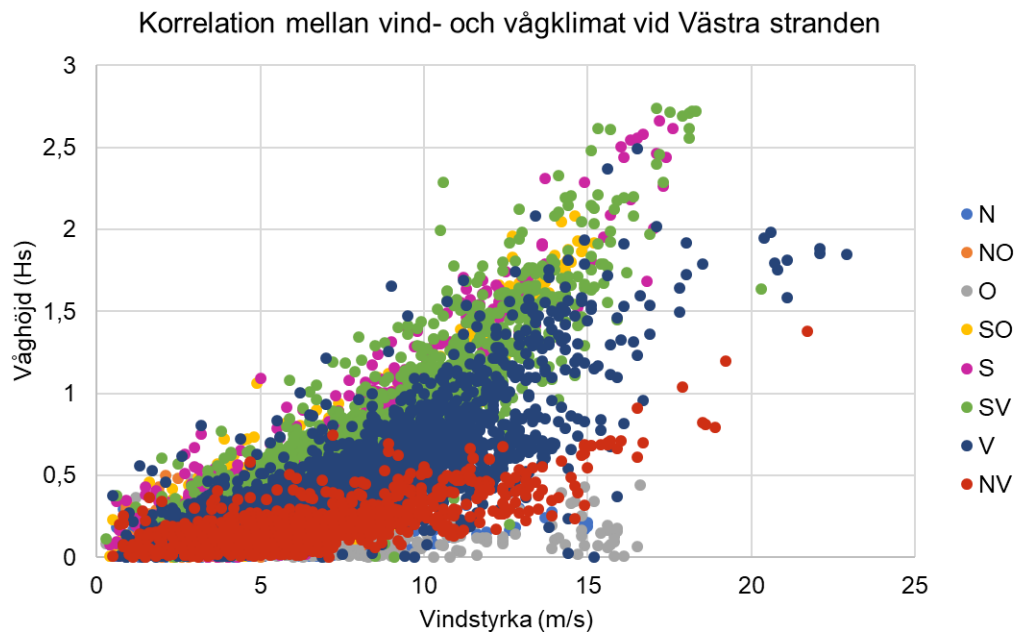
I Figur 5-3 visas en tidsserie över modellerade våghöjder och perioder i punkt 32 (se Figur 3-2). Resultaten antyder att våghöjder på mellan 2 – 2,5 m återkommer på årlig basis med vågperioder i storleksordningen 6 – 7 sekunder. Denna information är betydelsefull vid beräkning av våguppspolning men även för framtida dimensionering av översvämningsskydd eller andra kustnära konstruktioner.



Figur 5-3 Tidsserie över våghöjd och period i extraktionspunkt 32.

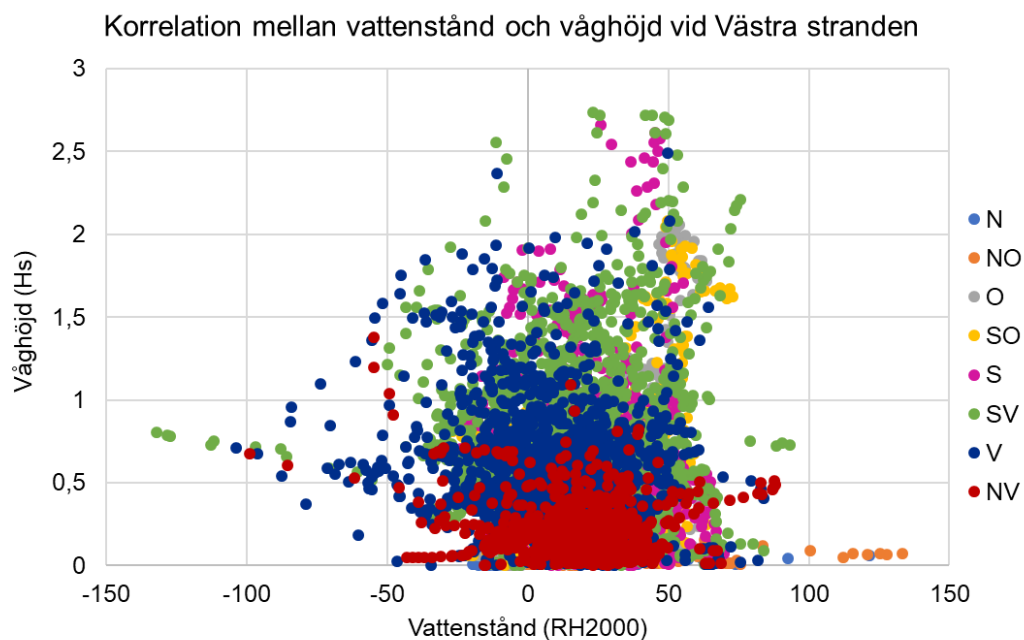
5.2 Korrelation mellan vågor och vattenstånd

För att ge en bakgrund till kopplingen mellan våghöjder och vattenstånd visas inledningsvis en jämförelse mellan vindriktning och våghöjd. I Figur 5-4 visas korrelationen mellan vind- och vågklimatet i extraktionspunkt 32 (se Figur 3-2) vid Västra stranden. Grafen visar hur våghöjd, vindstyrka och vindriktning korrelerar. Av figuren framgår att vid vindar med en sydlig komponent (SV-SO) ökar våghöjden med vindhastigheten. De största våghöjderna uppstår vid sydvästliga vindar, vilket även är den förhärskande vindriktningen vid sydkusten.



Figur 5-4 Korrelation mellan simulerade våghöjder och vindstyrka, indelat på vindriktning.

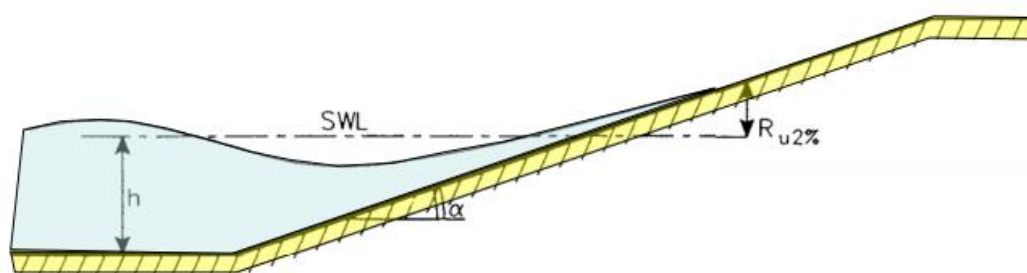
I Figur 5-5 visas korrelationen mellan våghöjd, vindriktning och vattenstånd. Vattenståndet är hämtat från SMHI:s station Skanör (Stationsnummer 30488) för motsvarande tidsperiod. Tidigare studier av Sweco har visat att korrelationen mellan vattenstånd i Trelleborg och Skanör är mycket god (Sweco, 2017), och således kan denna data användas för att analysera korrelationen mellan stor vågverkan och höga vattenstånd. Frekvensen av höga vattenstånd i samband med stor vågverkan är stor vikt då detta medför potential för stormerosion och översvämning. Figuren antyder att de högsta vattenstånden normalt inte sammanfaller med vågor högre än 1 m. Huvuddelen av de högsta vågorna sammanfaller med vattenstånd på mellan 0 och 0,5 m.



Figur 5-5 Korrelation mellan simulerade våghöjder och observerade vattenstånd.

5.3 Våguppspolning

Ytterligare en steg i att förstå dynamiken mellan hav och strand är att analysera våguppspolningen på platsen. Våguppspolningen, alltså den höjd vattnet når på stranden under vågverkan (Figur 5-6), kan uppskattas genom stranden lutning, aktuellt vattenstånd och höjd och period av infallande vågor.



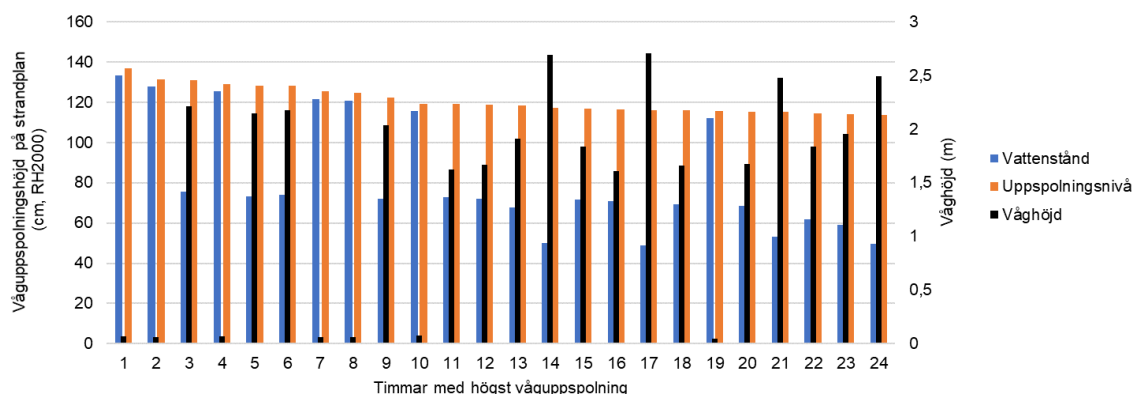
Figur 5-6 Schematisk bild över våguppspolning, där R motsvarar avståndet mellan stillvattenytan (SWL) och våguppspolningen.

Utifrån den data som presenteras i Figur 5-5 och en förenklad strandgeometri har nivån för våguppspolning vid varje timme under det modellerade året beräknats (Figur 5-7). Våguppspolningshöjden på strandplanet har beräknats enligt metodik beskriven av Mase

(1989) men kalibrerad i enlighet med studier i Östersjön (Paprotny, Andrzejewski, Terefenko, & Furmańczyk, 2014):

$$R_{2\%} = 1,29H_{m0} \left(\frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{\frac{H_{m0}}{L_{0p}}}} \right)$$

Där α är strandens lutning, H_{m0} är våghöjd och L_{0p} är djupvattenvåglängd. Resultaten har använts för att uppskatta vilken nivå den våguppspolningen överstiger 24 timmar årligen.



Figur 5-7 Figuren visar de 24 timmar av dataserien (2011) för vilka högst våguppspolning beräknats. De svarta staplarna visar våghöjd.

Våguppspolningsnivån som överskrider 24 timmar per år uppgår till +110 cm (RH2000) för den studerade dataserien (2011). Notera att det inte behöver vara 24 sammanhängande timmar. Denna frekvens bedöms tillräcklig för att årligen spola av strandplanet ett par gånger samtidigt som strandplanet inte utsätts för onödigt mycket vågkrafter som kan dra med sig sand till de grunda bottenarna utanför stranden.

5.4 Kalibrering och validering

Swecos vågmodell har kalibrerats och validerats (avseende våghöjd och period) mot SMHI:s urdriftnagna vågbojar *Laholmsbuktsens boj* (Stationsid 35066) och *Oskargrundet A* (Stationsid 35067), belägen i Öresund. Valideringsresultat för respektive vågboj presenteras i detalj i 'Teknisk bilaga 2 – Modellvalidering'.

Valideringen visar på en tillfredsställande prestanda i relation till vågmodeller av liknande karaktär.

6 Designkriterier

6.1 Vågexponering och höjdsättning

När vågor rör sig in mot kusten och bryter minskar successivt energin i vågorna. Generellt sett ger en långgrund strand mindre vågenergi vid strandkanten än en strand med brant lutning, då vågorna bryter på ett längre avstånd från stranden. Eftersom Västra stranden är mycket långgrund erfordras att stranden flyttas ut mot havet till för att kunna skapa en brantare strandprofil och med en ökad vågexponering. Riktlinjer i *Shoreline Management Guidelines* av (Mangor *et al.*, 2017) rekommenderar att en artificiellt skapad strand bör ha en aktiv strandprofil⁷ ut till 2 m djup för botten inte ska bli sumpig. En utfyllnad till 2 m djup innebär dock en så storskalig utfyllnad att genomförbarheten är tveksam, och i enlighet med liknande projekt i Køge, Danmark har utfyllnaden begränsats till omkring 1 m djup.

För att tillgodose god strandkvalitet av strandplanet behöver en lämplig höjd definieras. En för låg höjdsättning kan medföra att erosionspotentialen ökar medan en för hög nivå kan leda till att finsediment ansamlas på strandplanet. Strandplanets höjd har i föreliggande utredning bestämts till den nivå för vilken vågöverspolningen når 24 timmar per år enligt resonemangen tidigare. Med utgångspunkt i utförda beräkningar av våguppspolningshöjder har lämplig höjdsättning bedömts vara omkring +110 cm (RH2000).

6.2 Tångansamling

Västra stranden tar idag emot stora mängder tång och alger, främst efter perioder med vågor och pålandsvind. Denna naturliga process går ej att förhindra, men genom en god stranddesign kan tången sannolikt omfördelas längs kusten.

En utgångspunkt för att minska ansamlingen av tång längs strandpartiet är att tillgodose att de kustparallella strömmarna är tillräckligt starka för att transportera tång vidare och att det inte finns områden där strömhastigheten kraftigt reduceras. Detta innebär att fasta konstruktioner som avbryter strandlinjen i största möjliga mån bör undvikas, och i situationer då de är nödvändiga utformas för att tillåta vidaretransport av tång (se kap 7.7.5).

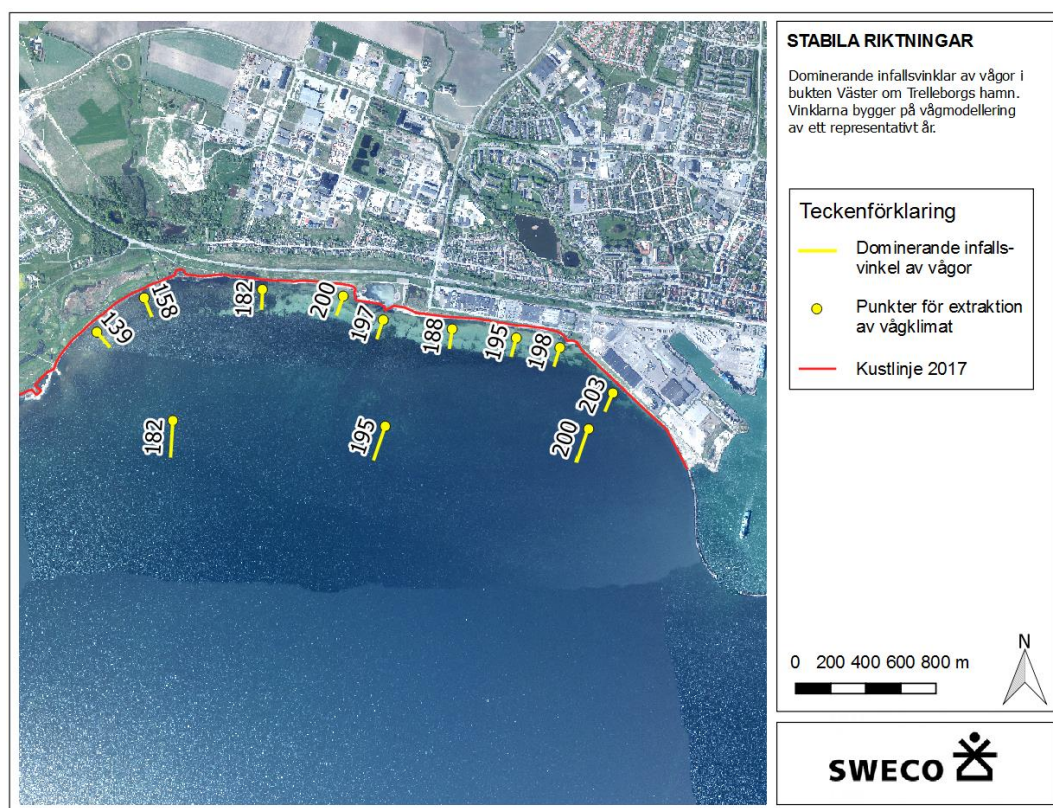
Även vid optimal strandutformning är det sannolikt att tångrensning kommer vara nödvändig efter tidsperioder med blåst och vågor. Vid liknande existerande anläggningar (till exempel Køge Bugt Strandpark) såväl som längs de befintliga kommunala badstränderna rensas strandplanet kontinuerligt under badsäsongen. I ett planeringsskede är det därmed viktigt att tillgodose att god åtkomst till strandplanet ges åt arbetsfordon.

⁷ Aktiv strandprofil innebär den del av strandprofilen där vågor kan omfördela sediment och "tvätta ur" finsediment.

6.3 Strandstabilitet

6.3.1 Stabila riktningar

I Figur 6-1 visualiseras medelriktningen av infallande vågor i de punkter för vilka tidsserier av vågor analyserats. Riktningen på de 9 innersta punkterna utmed kusten är densamma som riktningen som presenteras för varje individuell vågros i Figur 5-2. Figuren visar att medelriktningen av vågor generellt vrids medurs från väst till öst, vilket således bör vara en stabil strandlinjeform för Västra stranden. Notera dock att punkt 4 (se Figur 3-2 för läge) har en något avvikande medelriktning. Detta kan sannolikt förklaras av refraktionseffekter från den utstickande uppgrundningen (se Figur 4-1) söder om extraktionspunkten. Det föreligger således en möjlighet att dessa effekter kan leda att den naturliga jämvikten strävar mot två mindre bukter med en utstickande udde ett tiotal meter öster om den avvecklade småbåtshamnen.



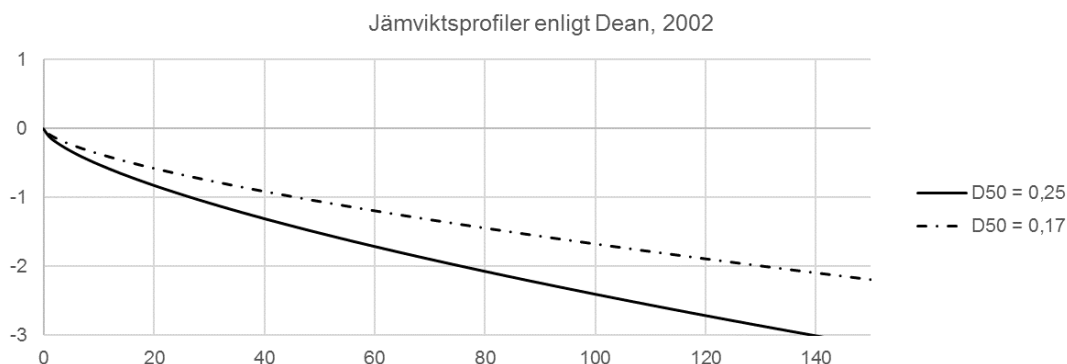
Figur 6-1 Beräknade stabila riktningar vid Västra stranden. Vid varje punkt redovisas den dominerande infallsvinkeln av vågor.

6.3.2 Strandfodringsmaterial

Det optimala materialet för strandfodring är platsspecifikt, men generellt sett bör det vara något grövre (större kornstorlek) än det naturligt förekommande för att undvika att den anlagda stranden omformas och plattas ut allt för mycket. Sanden bör även ha ett lågt

innehåll av finmaterial, organiskt material och snäckskal. Eventuellt finmaterial kommer relativt fort att spolats bort från stranden av vågor och utgör därför en förlorad sandvolym som verksamhetsutövaren ändå måste betala för vid genomförandet av strandfodringen. Helst ska sanden vara så ensgraderad som möjligt, alltså att sanden huvudsakligen är av liknande kornstorlek, då sådan sand upplevs som mer sandstrandslik. Färgen har dels estetisk betydelse och påverkar hur besökare upplever stranden efter genomförd åtgärd och dels betydelse för flora och fauna på stranden. Till exempel resulterar en mörkare sand än den ursprungliga i att mikroklimatet på stranden blir varmare, vilket kan missgynna de ursprungliga arterna på stranden.

Då kornstorleken i stora delar av vattenområdet är kategoriserad som finsand ($D_{50} < 0,2$ mm) bör utfyllnadssanden minst ha av en kornstorlek på 0,25 mm. Ett grövre sediment ger upphov till en brantare jämviktsprofil vilket även resulterar i ökad vågexponering av strandplanet. I Figur 6-2 visas ett teoretiskt exempel på jämviktsprofiler med varierande kornstorlek, framtagna i enlighet med formler av Dean (2002). Figuren visar skillnaden i jämviktsprofiler för två stränder med 0,17 mm respektive 0,25 mm i kornstorlek (D_{50}). Stranden med grövre sediment når teoretiskt ett bottendjup av 1 m cirka 25 m ut från land, medan stranden med finare sediment behöver en sträcka av 45 m för att uppnå samma djup.



Figur 6-2 Teoretiska jämviktsprofiler av sandstränder med olika kornstorlek.

6.3.3 Sedimenttransport och erosion

Analysen över historisk erosion vid Västra stranden visar inga indikationer på pågående kronisk erosion i området. Sanden tycks ha omfördelats mellan olika strandpartier, men generellt tycks sedimenttransporten ut från strandfickan vara i det närmaste obefintlig. Det vattendjup, innanför vilket sandförflyttning till följd av våginducerade strömmar huvudsakligen sker, brukar avgränsas genom det teoretiska *konvergensdjupet*, d_c (Hallermeier, 1978):

$$d_c = 2.28 H_{S,12h/y} - 68.5 \frac{H_{S,12h/y}^2}{g T_s^2}$$

där g är tyngdaccelerationen, $H_{s,12h/y}$ motsvarar den våghöjd som statistiskt motsvarar våghöjden som överstigs 12 timmar årligen och T_s tillhörande vågperiod. Utifrån modellerade våghöjder $H_{s,12h/y}=2,58$ har konvergensdjupet uppskattats till 4,5 – 5,0 m.

Längs Trelleborgs hamns västra vågbrytare ökar vattendjupet succesivt för att vid pirarmens slut uppgå till över 6 m. Med ett konvergensdjup på 4,5 – 5,0 m anses det därmed osannolikt att sand i större volymer skulle förflyttas österut mot hamninloppet. Vid sandutfyllnad längs pirarmen (och därigenom minskat bottendjup) föreligger dock en risk för ökad sandflykt längs med pirarmen, vilket medför ett behov av en sandfångande hövd.

Vågmodellering antyder att vågklimatet är betydligt mildare i buktens västra hörn, och således kan även den kustparallella sedimenttransporten västerut anses vara begränsad. En avslutande hövd i detta område är sannolikt därmed inte nödvändig.

6.4 Genomförande

Strandfodring innebär att ett kustområde tillförs sand på konstgjord väg (Figur 6-3). Vanligtvis utvinns sand till havs som därefter pumpas upp på strandplanet eller placeras i det strandnära vattenområdet. Metoden syftar till att ersätta eroderad sand eller utöka strandplanet genom ett nettotillskott av sand till strandprofilen.

Vid strandfodring finns en uppsjö av olika tekniker att tillgå, men vid utläggningen av sand vid Västra stranden begränsas möjligheterna något då det inte finns någon lämplig ankringsplats för fartyg på grund av det begränsade vattendjupet. Muddringsfartyget kommer därmed vid lämpligt djup behöva ansluta till ett rör genom vilket muddrad sand pumpas upp till strandplanet. Sanden kan sedan omfördelas på strandplan och längs strandprofilen med hjälp av anläggningsmaskiner.



Figur 6-3 Strandfodring vid Ystad sandskog 2011.

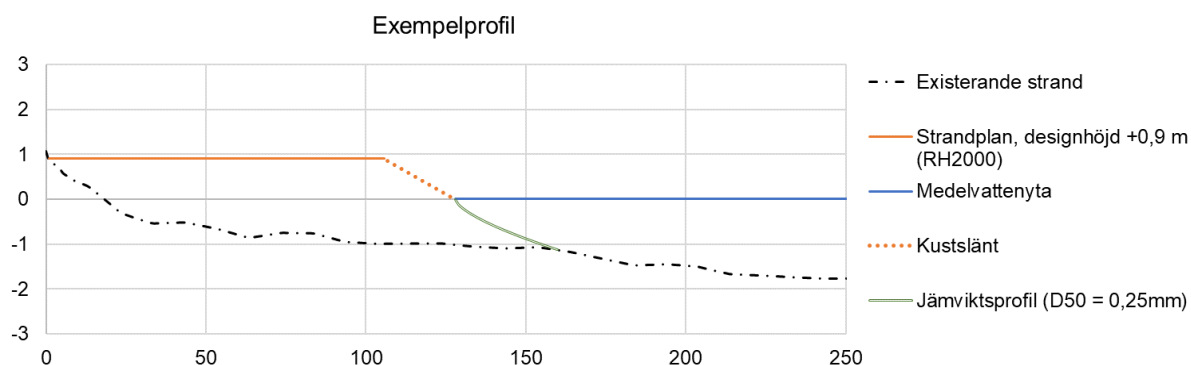
En följd av strandfodring som metod är kravet på sandförsörjning. Det är att föredra om sand kan utvinnas i strandfodringsområdets närhet, då detta minskar kostnaderna för strandfodringen samt minskar miljöpåverkan genom att begränsa transporterna. Förutom att sanden ska finnas i tillräcklig kvantitet måste även sanden vara av rätt kvalitet för ändamålet, främst med avseende på kornstorleksfördelning och färg. En potentiellt möjlig lokal för sandutvinning är Sandhammar bank, där Ystads kommun tar sin sand.

7 Möjliga strandutformningar

I föreliggande projekt har tre alternativa strandutformningar tagits fram, vilka presenteras i följande underkapitel. Samtliga alternativutformningar (i plan) utgår från beräknade stabila riktningar.

Strandprofiler (vertikala tvärsnitt) för dessa utformningar har tagits fram och består av tre olika element (se även Figur 7-1):

1. *Strandplan* (med designhöjd +0,9 m (RH2000))
2. *Kustlinjeslänt* med en lutning som motsvarar dagens släntlutning i domänen +0,5 till -0,5 m (relativt medelvattenytan).
3. En subakvatisk (under vattnet), teoretisk stabil *jämviktsprofil* som beräknats med metodik från Dean (2002) utifrån en uppskattning av kornstorleken på sanden på Sandhammar bank⁸.



Figur 7-1 Exempelprofil med beskrivning över begreppen strandplan, kustlinjeslänt och jämviktsprofil.

Kostnadsuppskattningen för vardera alternativ grundar sig i volymeräkningar och erfarenheter från strandfodringen i Ystad 2011, där priset per kubikmeter sand (inklusive etablering, muddring och utläggning) uppgick till 100 SEK. Omräknat för inflation och ökade transportkostnader har kubikmeterpriset justerats till 120 SEK. Notera att volymeräkningarna utgår från att allt fyllnadsmaterial utgörs av marin sand och att kostnadsuppskattningen inte omfattar konstruktion av eventuella fasta konstruktioner eller kringkostnader såsom tillståndprocesser.

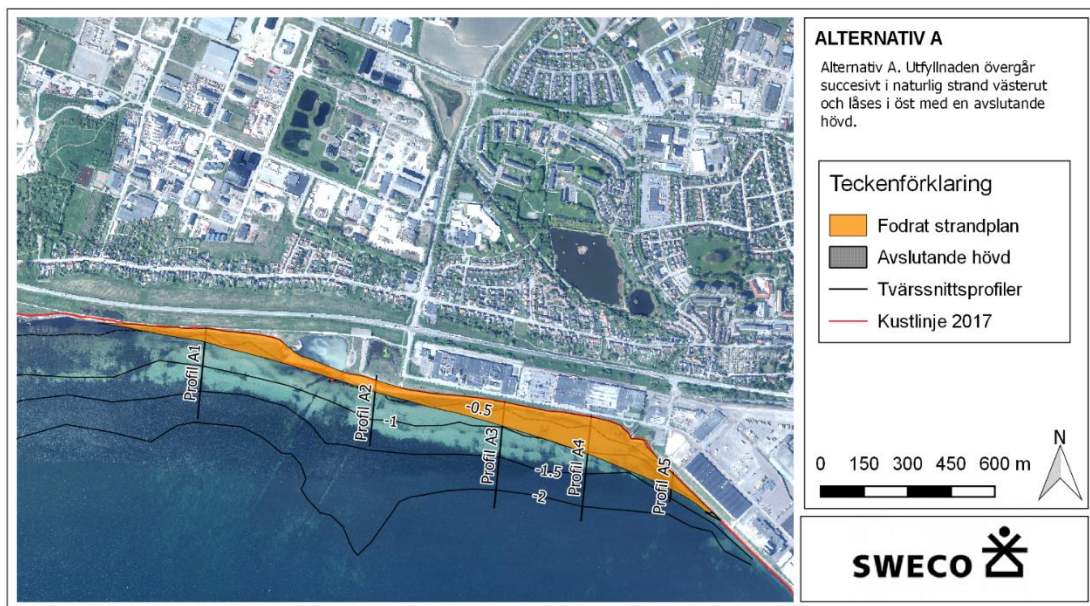
7.1 Alternativ A

Alternativ A är en strandutformning som innebär en fodring av buktens östra hörn vars strandplansbredd succesivt minskar västerut (Figur 7-2). Stranden har en längd på cirka

⁸ Sandhammar bank är den plats där Ystad kommun hämtat sin sand för strandfodring. Generell uppskattning av kornstorleken (D50) är 0,25 mm.

2 km och en maximal bredd av 130 m. Detta alternativ medför att den före detta småbåtshamnen behöver fyllas ut och dagens stenskonig i anslutning till denna hamn avlägsnas. Då utvinning och utläggning av marin sand sannolikt är den största kostnadsbäraren är det fördelaktigt om småbåtshamnen kan fyllas ut med billigare massor, vilka då bör erosionssäkras. För denna utformning erfordras även att stenraderna i västra delen av bukten avlägsnas eller flyttas.

För att säkerställa att sandflykten österut minimeras föreslås en avslutande hövd längs med nuvarande pirarm. En principskiss och översiktlig diskussion av en sådan hövd presenteras mer ingående i kapitel 7.5.



Figur 7-2 Utformning av Alternativ A.

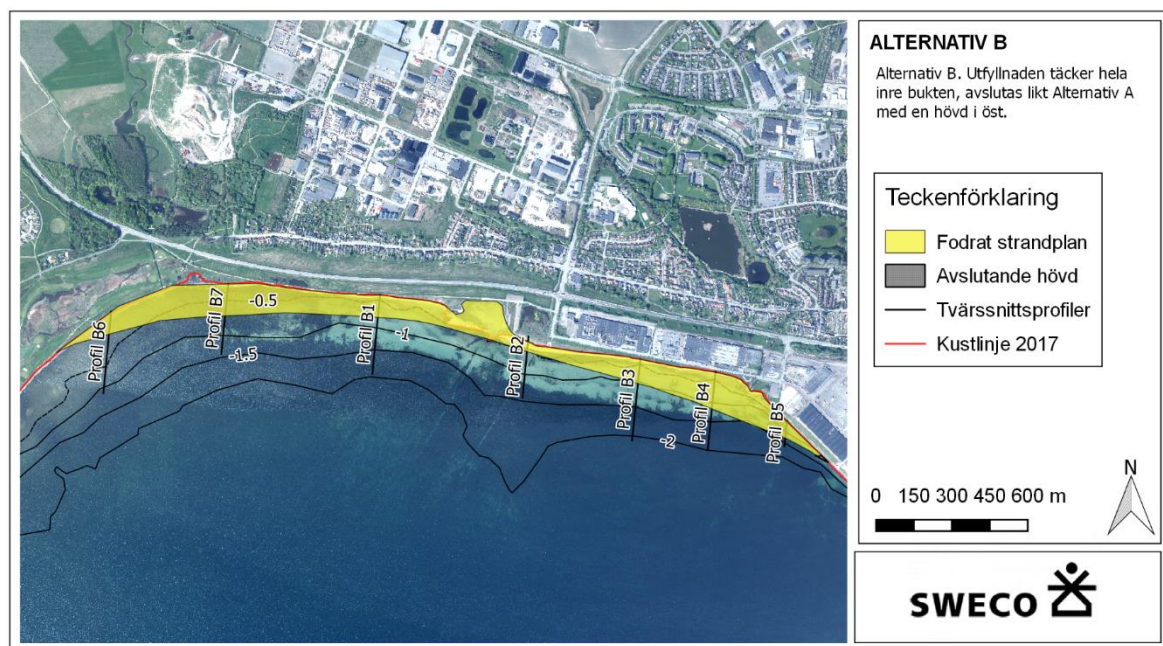
7.1.1 Volym och grov kostnadsuppskattning

Volymen sand som erfordras vid utfyllnad med marin sand har beräknats till cirka 235 000 m³ med en schablonkostnad på cirka 28 MSEK.

7.2 Alternativ B

Alternativ B är en strandutformning med betydligt större utsträckning västerut. Detta alternativ medför ungefär en dubbel fodringsvolym men skapar en större konnektivitet mellan strandens östra och västra delar. Strandens längd uppgår till cirka 3,2 km och dess maximala strandbredd till 150 m (Figur 7-3).

Även detta alternativ medför att den före detta småbåtshamnen behöver fyllas ut, att dagens stenskonig i anslutning till denna hamn avlägsnas och att stenraderna avlägsnas.



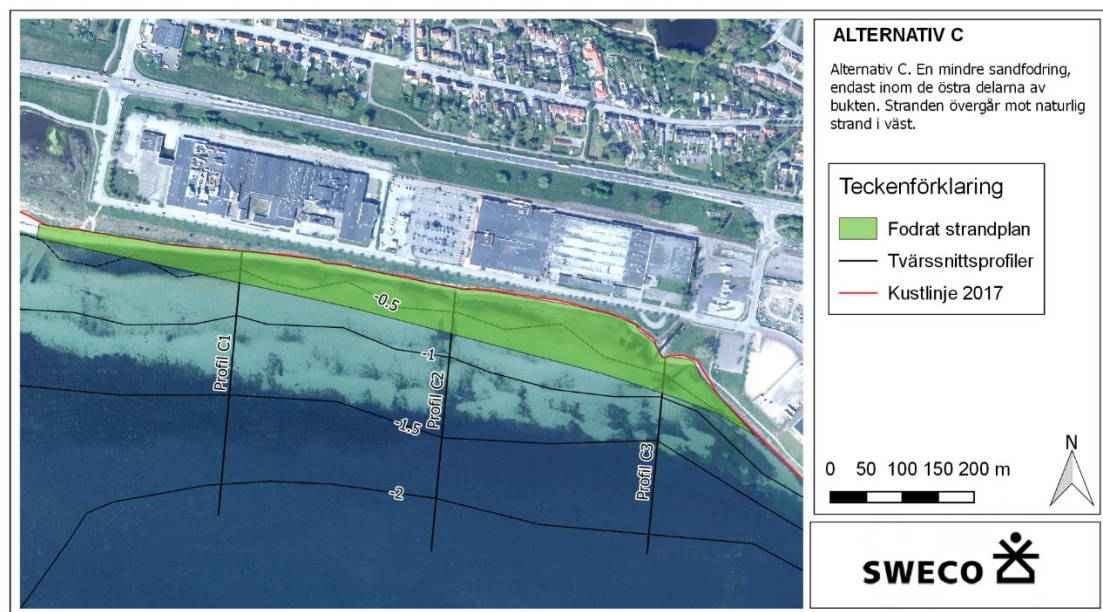
Figur 7-3 Utformning av Alternativ B.

7.2.1 Volym och grov kostnadsuppskattning

Volymen sand som erfordras vid utfyllnad med marin sand har beräknats till cirka 450 000 m³ med en schablonkostnad på cirka 54 MSEK.

7.3 Alternativ C

Alternativ C är en strandutformning begränsad till fastigheterna i Västra strandens östra delar. Syftet med detta alternativ är att skapa ett brett strandplan utan vinklar och konstruktioner som medför stor tångansamling. Utformningen är delvis en kompromiss med djupkriteriet (jämviktsprofil till 1 m djup) och beräknade stabila riktningar. Strandens längd uppgår till cirka 1 km och den maximala strandplansbredden till 80 m (Figur 7-4).



Figur 7-4 Utformning för Alternativ C.

7.3.1 Volym och grov kostnadsuppskattning

Volymen sand som erfordras vid utfyllnad med marin sand har beräknats till cirka 83 000 m³ med en schablonkostnad på cirka 10 MSEK.

7.4 Sammanvävd bedömning av alternativ

För att på ett överskådligt sätt presentera för- och nackdelar med samtliga alternativ presenteras en jämförelse i Tabell 7-1.

Alternativ A uppfyller väl uppsatta designkriterier, med undantag från strandens västra delar, där djupkriterierna inte uppfylls. Avlägsnandet av dagens stenrader och en modifierad vinkel på strandplanet innebär dock att vågexponeringen sannolikt förbättras även i de västra delarna.

Alternativ B är den till ytan största strandutformningen och därigenom även det dyraste alternativet. Även detta alternativ innebär en mindre kompromiss med djupkriterierna vid strandens avslutning i väster, men genom avlägsnandet av stenrader och förändrad strandvinkel kan vågexponeringen sannolikt förbättras avsevärt.

Alternativ C är den till ytan minsta strandutformningen och därigenom även det billigaste alternativet. Detta alternativ innebär dock en kompromiss mot designkriteriet med avseende på djup och stabila riktningar och endast en måttlig ökning av vågexponeringen är att förvänta.

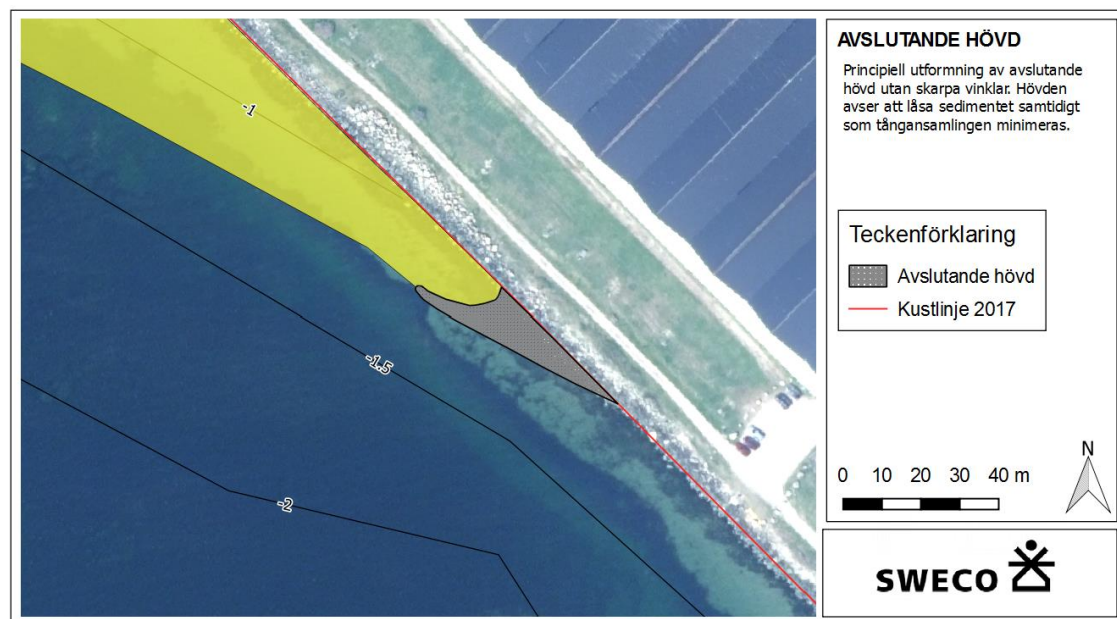
Samtliga alternativ medför för- respektive nackdelar. Alla alternativen bedöms genomförbara, och önskad utbredning av stranden ställd i relation till kostnaderna för de olika alternativen bör bli avgörande faktorer vid val av alternativ.

Tabell 7-1 Jämförelse av alternativa utformningar.

Parameter	A	B	C
Strandlängd	2 km	3,2 km	1 km
Strandplansbredd	130 m	150 m	80 m
Sandvolym	235 000 m ³	450 000 m ³	83 000 m ³
Kostnad	28 MSEK	54 MSEK	10 MSEK
Stabila riktningar uppnådda	Delvis	Ja	Nej

7.5 Avslutande hövd

Trots att risken för sandflykt österut mot Trelleborgs hamninlopp bedöms som låg bör en storskalig sandutfyllnad avslutas med en hövd. En principskiss för en sådan hövd presenteras i Figur 7-5. Hövden bör utformas så att konstruktionen effektivt begränsar sandflykten och i sig självt inte leder till ökad tångansamling. Konstruktionens vinkel bör därmed likt strandfodringen vara orienterad vinkelrätt mot den dominerande riktningen av infallande vågor.

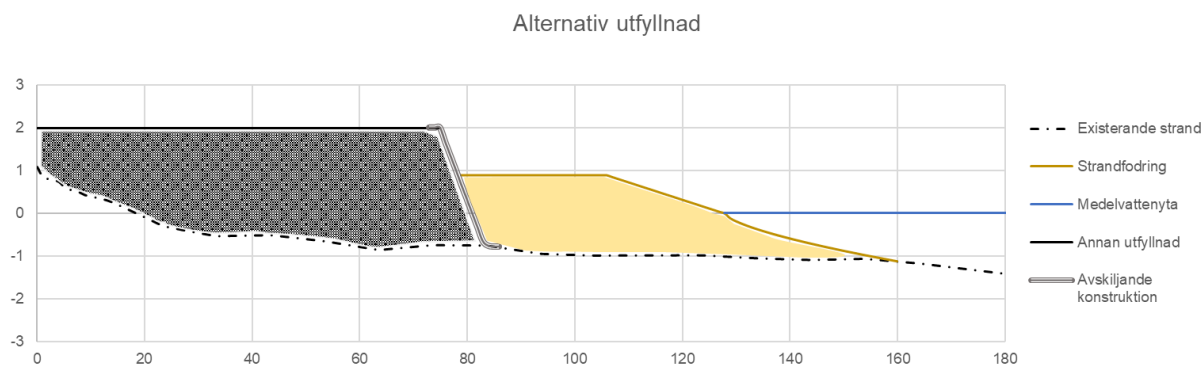


Figur 7-5 Principskiss för avslutande hövd med syfte att begränsa sedimenttransporten i östlig riktning.

7.6 Delvis utfyllnad med annat material

Designförslagen i föreliggande utredning medför ett brett strandplan relativt de naturliga stränder som finns i omgivningen. För att begränsa volymen sand som krävs för att skapa

en optimal strand kan rimligtvis stora delar av utfyllnaden bestå av en annan typ av massor. Utfyllnad i marina miljöer medger stora krav på massornas renhet, och dessa bör även erosionssäkras med hårda skydd som exempelvis stenskoningar. Dessa konstruktioner kan samtidigt bidra till en ökad resiliens mot översvämning. Figur 7-6 visar en schematisk skiss över en alternativ utfyllnad med strandplansbredd på 50 m. Höjd-sättningen av eventuella alternativa utfyllnader bör utföras i enlighet med förväntade framtida extremvattenstånd och risker kopplade till vågöverspolning.



Figur 7-6 Schematisk skiss över en alternativ utfyllnadsmetodik.

7.7 Ytterligare omständigheter att beakta

7.7.1 Drift och underhåll

Med en sandstrand vid Västra stranden tillkommer ett behov av drift och underhåll, huvudsakligen begränsat till sommarsäsongen. Även om föreslagna strandutformningar tagits fram för att minimera tångansamlingen är det sannolikt att tångrensning kommer vara nödvändig inför sommarsäsongen och efter perioder med hårda vindar, liksom på övriga badstränder i kommunen.

Efter hårda stormar kan det eventuellt uppstå behov för omfördelning av sand längs strandplanet, vilket kan utföras med grävmaskin. Ytterligare en driftaspekt att beakta är ökad sandflykt, där sand kan blåsa in över land under perioder med stark vind. För att begränsa sandflykten kan eventuellt strandstaket anläggas, vilket även är ett effektivt verktyg för uppbyggnad av naturliga dyner på en fodrad sandstrand. Åtgärder av typen omfördelning av sand med grävmaskin kan utgöra vattenverksamhet och därmed vara tillstånds- eller anmälningspliktig verksamhet.

7.7.2 Framtida sandbehov

Utifrån beräkningsmetodik som diskuteras i kapitel 4.4 presenteras i detta avsnitt det sandbehov som föreligger för att bibehålla Västra strandens omfattning i ett föränderligt klimat med stigande medelvattennivå. Bakgrund och detaljer till beräkningarna är beskrivna i *Teknisk Bilaga 3 – Framtida sandbehov*. Den metodik som använts är dock generell och det sandbehov som beräknas är oberoende av en utbyggnad av Västra

stranden. Med andra ord, de sandvolymen som presenteras nedan är generella sandvolymen som bedöms gå förlorade från mjuka (sandiga) kuststräckor som en direkt följd av havsmedelvattennivåns höjning, förutsatt att ingen annan erosion eller ackumulation sker i området.

I Tabell 7-2 redovisas beräknade volymer och den årliga kostnaden associerad till strandfodring under respektive tidsperiod (2019 – 2050 och 2050 – 2100). Till följd av att havsnivåhöjningen inte är linjär kommer underhållskostnader för strandfodring att öka över tid. Kostnaderna kan tyckas höga, men bör sättas i relation till de många värden som är knutna till sandstränder, bland annat reaktionsvärden, verksamheter kopplade till strandmiljö, bevarande av strandnära ekosystem och värden i form av översvämningsskydd.

Tabell 7-2 Beräknade strandfodringsvolymen (och tillhörande kostnad) som erfordras för att kompensera för stigande medelvattenyta.

År	Medelvattenyta (RH2000)	V _{Bruun} (m ³)	Årlig kostnad
2019	+17 cm		
2050	+ 33 cm	270 000	≈ 1 MSEK
2100	+ 78 cm	700 000	≈ 1,7 MSEK

Ett anläggande av en utökad sandstrand idag ökar inte kostnaden för klimatanpassning, utan kan tvärt om ses som en betydande klimatanpassningsåtgärd. Det underhållsbehov som presenteras här kommer att behöva hanteras även om ingen utökad strand tillskapas, om samhället önskar behålla strandlinjens läge. Samtidigt bidrar en utökad sandstrand med klimatanpassning, genom att minska de vågkrafter som når dagens landområde.

7.7.3 Dagvatten

I de östra delarna av stranden finns en mindre å samt ett dagvattenutlopp från dagens hamnverksamhet (Figur 7-7). Även västerut, vid småbåtshamnen finns dagvattenutlopp. Ån kan sannolikt ledas genom stranden men dess utlopp genom stranden bör inte fixeras utan tillåtas att förändras naturligt. En fixering genom hårda konstruktioner kan medföra oönskad erosion i dess närhet. Ytterligare en aspekt att beakta är vattenkvaliteten i vattendraget, både avseende bakteriehalt men även dess färg. Genom flygfotostudier och fältbesök har det konstaterats att vattnet ofta bär en brunaktig färg, vilket sannolikt påverkar attraktiviteten av den nya stranden som badstrand. Vid *Alternativ B* behöver även liknande hänsyn tas till Albäcksåns utlopp. Sommartid provtas badvattnet på kommunala badplatser kontinuerligt, och denna provtagning kommer även behöva inkludera Västra stranden.

Dagvattenutloppen har en okänd vattenkvalitet och utloppsrören har en utformning som sannolikt kan behöva förändras vid konstruktion av sandstranden.



Figur 7-7 Bildmaterial från fältbesök i april 2019. Till vänster visas dagvattenledning från hamnområdet och till höger utloppet av vattendraget. Utloppen återfinns i Västra strandens östra hörn.

7.7.4 Stenrader

De stenrader som är placerade i buktens västra delar (t.v. i Figur 7-8) agerar i nuläget som effektiva tångfällor genom att de reducerar den bortförande kustparallella strömmens styrka. Vid strandfodring rekommenderas att dessa stenar avlägsnas. Stenraderna kan tänkas ligga kvar vid de mer omfattande alternativen A och B, men de bör då vara tillräckligt begrävda under sanden för att inte störa utnyttjandet av stranden ur rekreationssynpunkt eller försvåra tångrensningen. Ur erosionssynpunkt har troligen stenarna en viss, om än relativt begränsad, stabiliserande effekt på stranden (Sweco VIAK, 2005). Vid strandfodring (alternativ A och B) utökas strandplanet bredd och stenarnas begränsade funktion som erosionsskydd uteblir definitivt.



Figur 7-8 Stenrader öster om den avvecklade småbåtshamnen vid Västra stranden.

7.7.5 Bryggor och övriga konstruktioner i vattenområdet

För att inte riskera att förändra strömningsmönster bör eventuella bryggor och andra konstruktioner som planeras i vattenområdet vid Västra stranden anläggas på pålar eller dylikt, med så liten hydraulisk påverkan som möjligt.

7.8 Tillståndprocesser

Strandfodring och marin sandutvinning utgör tillståndspliktiga vattenverksamheter enligt 11 kapitlet i miljöbalken med mark- och miljödomstolen som beslutande instans. Marin sandutvinning är därutöver tillståndspliktigt enligt Lag (1966:314) om kontinentalsockeln med Sveriges geologiska undersökning (SGU) som beslutande instans. Anläggande av en ny strand längs Västra stranden behöver föregås av tillstånd enligt båda dessa lagar, förutsatt att sanden ska hämtas till havs inom Sveriges gränser (en teoretisk möjlighet till sand från landbaserad täkt eller från annat land finns).

Vid vattenverksamhet råder strikt rådighetskrav för den mark som ska tas i anspråk. Med andra ord måste verksamhetsutövaren vara markägare, alternativt erhålla rådighet genom nyttjanderättsavtal med den som äger fastigheten (servitut eller liknande).

Det finns inga regler om turordning för hur ovan nämnda processer ska bedrivas. Processerna kan drivas parallellt, alternativt en i taget.

Två andra kommuner har eller söker för tillfället tillstånd för marin sandutvinning och strandfodring; Ystads och Ängelholms kommuner. I Ystads kommuns fall erhöll kommunen tillstånd till sandutvinning och strandfodring enligt miljöbalken redan 2001, medan man fick avslag på sin ansökan enligt kontinentalsockellagen i två omgångar. Först 2011 erhöll kommunen tillstånd enligt kontinentalsockellagen, och 2013 erhöll man nytt tillstånd enligt miljöbalken (det tidigare tillståndet gick ut 2011). Ystads kommuns befintliga tillstånd enligt kontinentalsockellagen går ut 2021, och för att kunna fortsätta bedriva strandfodringsverksamhet därefter kommer kommunen att behöva ansöka om nytt tillstånd. Detsamma gäller tillståndet enligt miljöbalken som går ut 2023. I Ängelholms kommuns fall valde kommunen att inleda med att ansöka om tillstånd enligt kontinentalsockellagen. I februari 2019 erhöll kommunen tillstånd från SGU för marin sandutvinning. Kommunen arbetar för tillfället med ansökan enligt miljöbalken.

Ansökan enligt nämnda lagar föregås av sökandens utredningar, avseende verksamheternas utformning och genomförande såväl som av deras påverkan och miljökonsekvenser. Ansökningsarbetet enligt miljöbalken omfattar även samråd enligt 6 kapitlet i miljöbalken. I båda processerna är länsstyrelsen och andra sektorsmyndigheter remissinstanser.

Sökandens underlagsutredningar ska vara i den omfattning som krävs för att belysa konsekvenserna av den ansökta verksamheten. I ett sandutvinnings-/strandfodringsärende blir nedanstående utredningar normalt sett aktuella, men beroende på de lokala förutsättningarna och de värden som finns i det aktuella området, kan ytterligare utredningar bli aktuella.

- Behovsanalys avseende den ansökta åtgärden

- Maringeologisk undersökning av sandutvinningsområdet
- Marinbiologiska undersökningar av sandutvinnings- och strandfodringsområden
- Kusthydrauliska utredningar
- Biologisk undersökning av terrestra strandområden
- Marinarkeologiska undersökningar

8 Slutsatser

Med utgångspunkt i vågmodellering och kusttekniska resonemang föreslår Sweco tre alternativa utformningar av en konstgjord strand längs Västra stranden. En konstgjord strand ökar rekreativt värde hos kustremsan samtidigt som den effektivt bidrar till vågdämpning och därigenom ökad motståndskraft under kraftiga stormar.

Beroende på utformningsalternativ varierar behovet av vidare kusttekniska utredningar och detaljprojektering. Resultatet från vågmodelleringen kan med fördel användas för att översiktligt simulera förväntade sedimentrörelser och därigenom kostnadsoptimera utläggningen av sand.

Den avslutade hövd som diskuteras för Alternativ A och B är endast en principskiss, och för att bestämma dess slutgiltiga utformning bör strömningsmönstren bedömas. För att tillgodose god funktion och stabilitet bör design och dimensionering utgå från metodik i *Rock Manual* (CIRIA; CUR; CETMEF, 2012).

9 Referenser

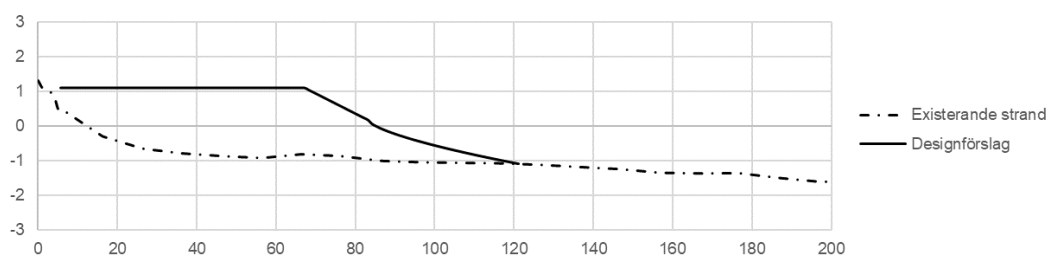
- CIRIA; CUR; CETMEF. (2012). *Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering* (2nd editio). London: CIRIA.
- Dean, R. (2002). *Beach Nourishment - Theory and Practice*. Florida: Advanced Series on Ocean Engineering, Volume 18.
- DHI. (2007). *Kuststudie Trelleborgs kommun - kusttekniska undersökningar*. (December).
- Hallermeier, R. J. (1978). Uses for a Calculated Limit Depth to Beach Erosion. *16th Costal Engineering Conference*, 1493–1512.
<https://doi.org/10.1061/9780872621909.090>
- Hallin, C., Almström, B., Hanson, H., Larson, M., & Persson, O. (2017). Sandbehov för att motverka stranderosion utmed Skånes sydkust under perioden 2017 – 2100. *VATTEN - Journal of Water Management and Research*, 73(November), 77–84.
- Mangor, K., Drønen, N. K., Kærgaard, K. H., & Kristensen, S. E. (2017). Shoreline management guidelines. In *DHI Water and Environment*. Retrieved from www.dhigroup.com
- Mase, H. (1989). Random wave runup height on gentle slope. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 115(5), 649–661.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1989\)115:5\(649\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1989)115:5(649))
- Paprotny, D., Andrzejewski, P., Terefenko, P., & Furmańczyk, K. (2014). Application of empirical wave run-up formulas to the polish baltic sea coast. *PLoS ONE*, 9(8), 1–8.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105437>
- SGU. (2019). Kartvisare Maringeologi. Retrieved from Projekt Skånestrand website: <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-maringeologi.html>
- SMHI. (2007). *Beräkning av vågklimatet utanför Trelleborgs hamn* (2007th–55th ed.). Norrköping.
- SMHI. (2017). Framtida medelvattenstånd längs Sveriges kust. *Klimatologi*, (41), 21–24.
- Sweco. (2017). *En idéstudie för hur Trelleborgs tätort kan skyddas mot höga havsnivåer, nu och i framtiden*. (130021236).
- Sweco VIAK. (2005). *PM - Tångproblem längs Trelleborgs kust*. 1–3.

Teknisk bilaga 1 - Strandprofiler

I följande underkapitel presenteras utformningen av strandfodringen genom ett urval av vertikala tvärsnitt för respektive alternativ. De vertikala tvärsnitten som presenteras i respektive utformningskartor (i plan) har använts för volymlberäkningar.

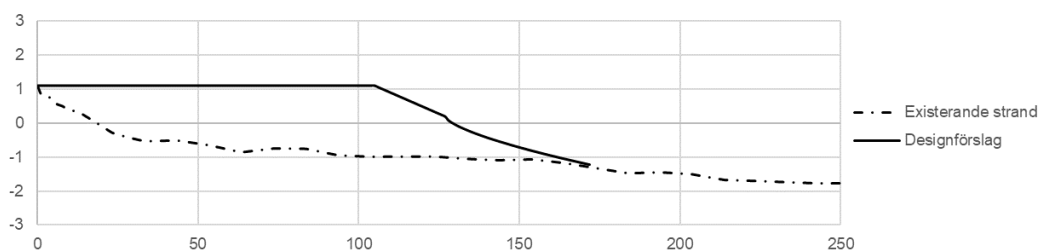
Alternativ A

Profil A3



Tvärsnitt för profil A3.

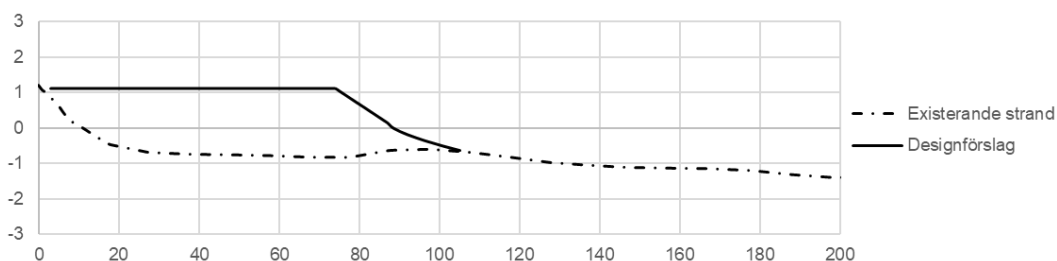
Profil A4



Tvärsnitt för profil A4.

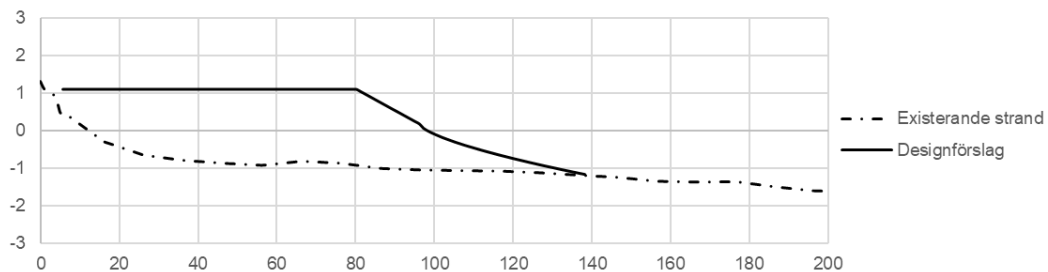
Alternativ B

Profil B1



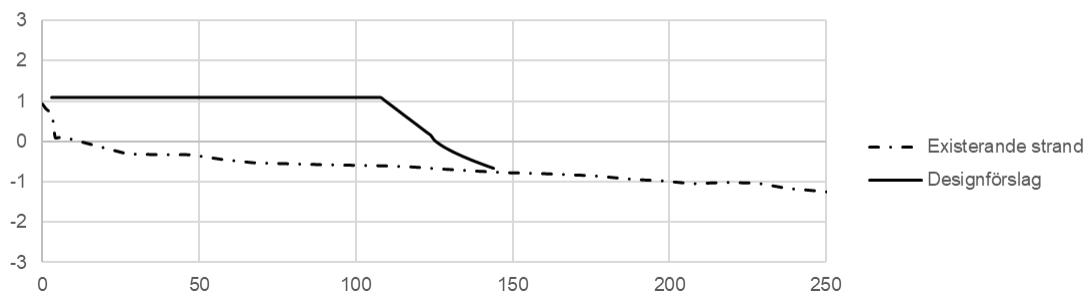
Tvärsnitt för profil B1.

Profil B3



Tvärsnitt för profil B3.

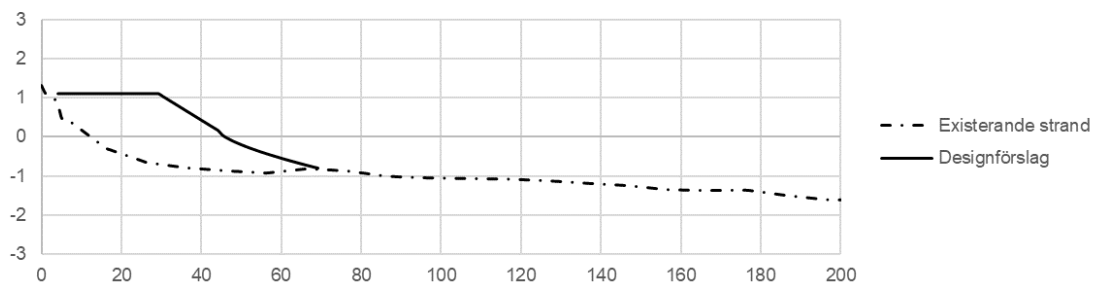
Profil B7



Tvärsnitt för profil B7.

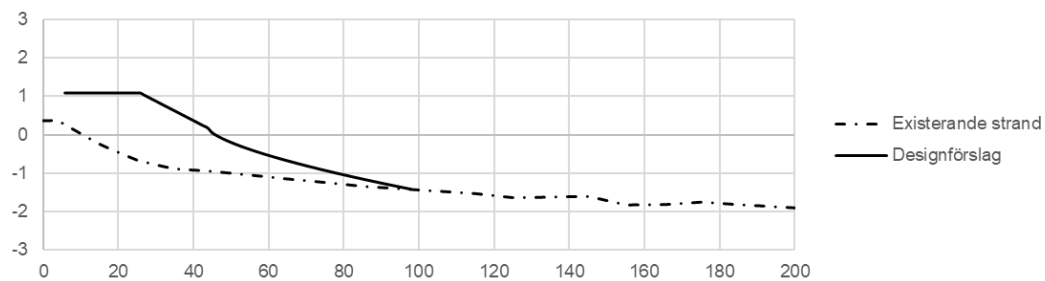
Alternativ C

Profil C1



Tvärsnitt för profil C1.

Profil C3

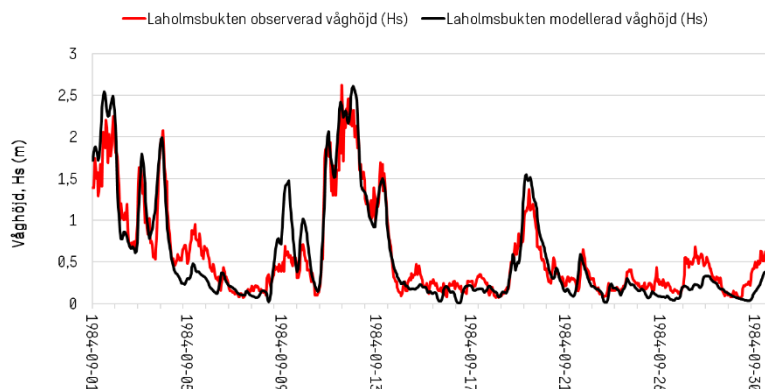


Tvärsnitt för profil C3.

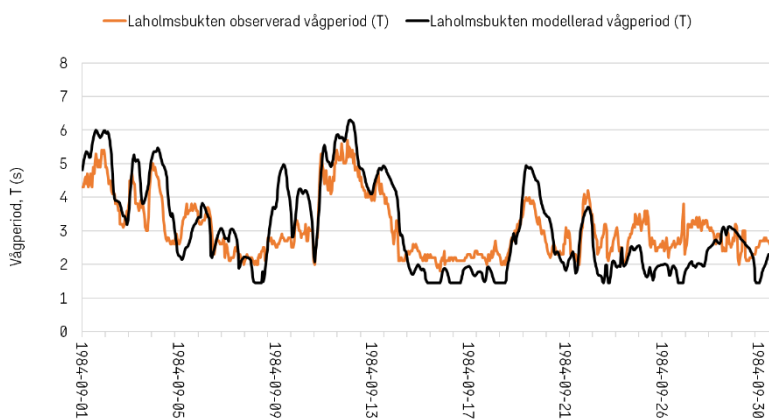
Teknisk bilaga 2 – Modellvalidering

I följande bilaga presenteras tidsserier för validering vid Laholmsbuktens respektive Oskargrundets boj. I tabellen nedan presenteras statistiska parametrar för valideringsperioderna. Antal punkter (n) motsvarar antalet timmar i valideringsperioden, linjär regression (b) visar hur väl simuleringen matchar observationer (1,0 är perfekt överensstämmelse) och RMSE⁹ representerar storleken på medelfelet.

Den största felkällan till modellens avvikelser från observerade mätdata är att den vind-data som är tillgänglig som drivdata under valideringsperioderna (1984 respektive 1989) inte är av lika hög kvalitet som den vinddata som utnyttjats för den simulerade perioden.

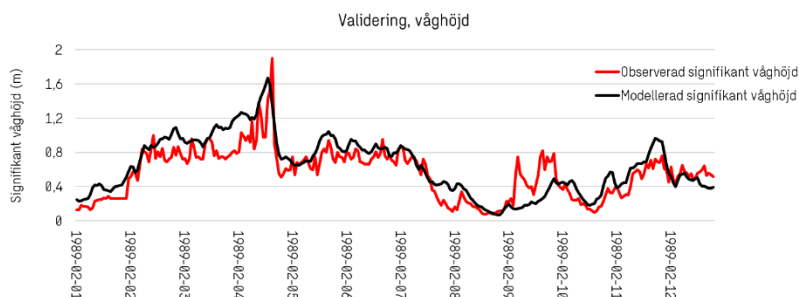


Validering av vågmodellen mot Laholmsbuktens boj, avseende våghöjd.

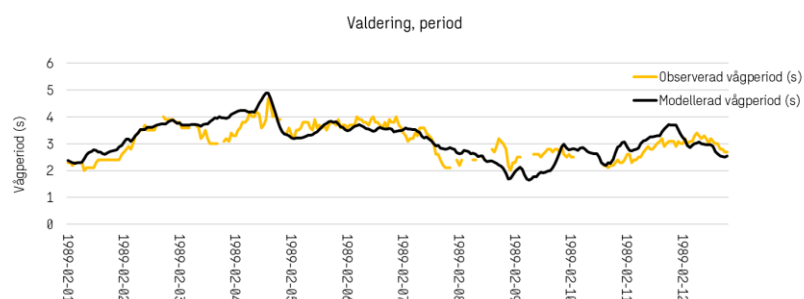


Validering av vågmodellen mot Laholmsbuktens boj, avseende vågperiod.

⁹ Root Mean Square Error är ett mått på spridningen av avvikelserna när jämförelse görs mot observerade värden.



Validering av vågmodellen mot Oskargrundets boj, avseende våghöjd.



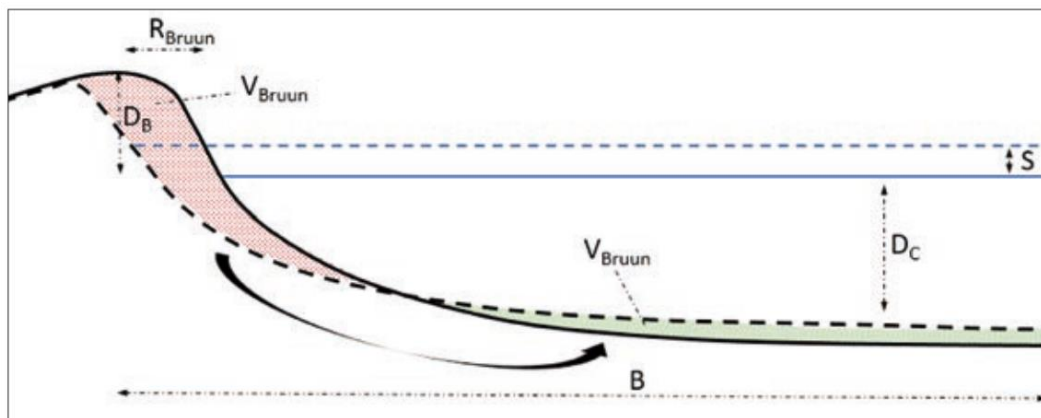
Validering av vågmodellen mot Oskargrundets boj, avseende vågperiod.

Statistiska parametrar för valideringssimuleringar mot Laholmsbuktens boj och Oskarsgrundet A.

	Antal punkter (n)	Linjär regression (b)	RMSE
Laholmsbuktens boj, H_s (m)	719	1,09	0,31 m
Laholmsbuktens boj, T (s)	719	1,28	0,85 s
Oskargrundet A, H_s (m)	337	1,0	0,22 m
Oskargrundet A, T (s)	337	0,86	0,39 s

Teknisk bilaga 3 – Framtida sandbehov

I figuren nedan visas en schematiserad bild över en sandstrands förändring till följd av stigande medelnivåer i havet.



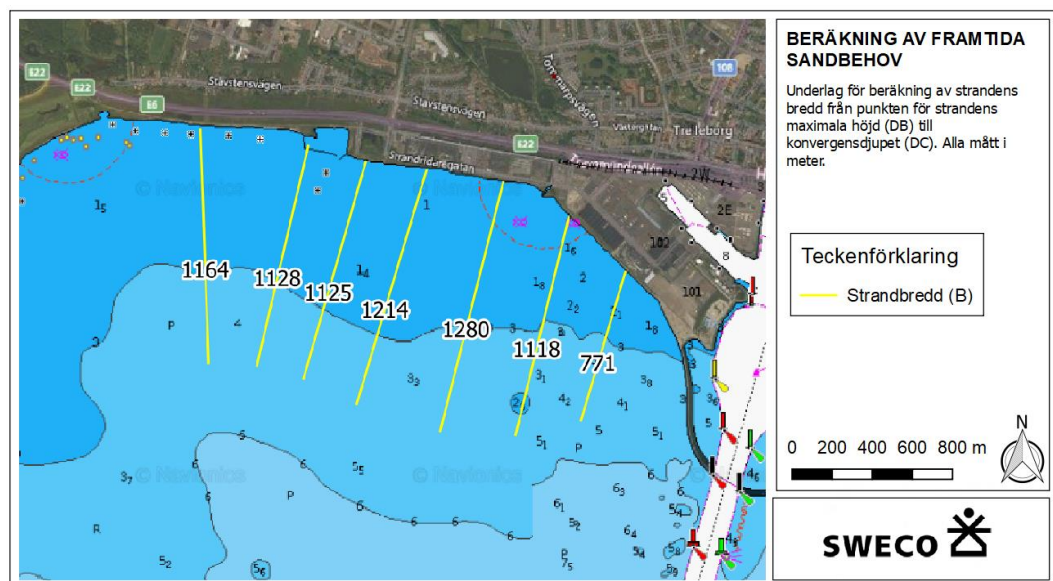
Schematiserad bild över sandstrands förändring till följd av stigande havsnivåer. Den röda volymen av sand representerar den eroderade volymen, vilken omfördelas till området markerat i grönt. Bild hämtad från (Hallin et al., 2017).

Den röda volymen sand representerar den eroderade volymen, vilken omfördelas till området markerat med grönt. Strandlinjens tillbakadragning, R_{Bruun} , är en funktion av havsnivåhöjningen och strandens lutning. Den sandvolym (m^3) som behöver fyllas på för att bevara kustlinjens läge vid stigande havsmedelnivåer kan beräknas enligt följande samband:

$$V_{Bruun} = S \cdot B$$

där S är havsnivåhöjningen och B är strandens bredd från punkten för strandens maximala höjd (D_B) till konvergensdjupet (D_C), alla mått i meter. Beräkningar av konvergensdjup beskrivs i huvudrapporten, kapitel 6.3.3. För en djupare genomgång av beräkningsmetodiken hänvisas läsaren till artikeln "Sandbehov för att motverka stranderosion utmed Skånes sydkust under perioden 2017 – 2100" (Hallin et al., 2017).

I figuren nedan redovisas beräknade bredder för B , där medelbredden motsvarar cirka 1,11 km. Strandens längd har uppskattats till 1,4 km. Beräkningarna utgår ifrån SMHI:s prognoser kring framtida havsnivåer (SMHI, 2017).



Beräknade längder av B (strandens bredd från punkten för strandens maximala höjd till konvergensdjupet).

Beräknade strandfodringsvolymen som erfordras för att kompensera för stigande medelvattenyta presenteras i tabellen nedan. Beräkningarna förutsätter att ingen sedimenttransport sker ut från berört område, alltså att ingen ytterligare erosion sker. Fram till år 2050 har detta sandbehov beräknats till 270 000 m³ och därefter ytterligare 700 000 m³ fram till år 2100. Utifrån en kostnadsbas på 120 SEK/m³ redovisas även den årliga kostnaden i dagens penningvärde mellan åren 2019 – 2050 samt 2050 – 2100. Den accelererade havsnivåhöjningen leder till att sandbehovet och därmed underhållskostnaden ökar över tid. Det bör dock poängteras att det på längre sikt sannolikt finns goda chanser till att reducera dessa kostnader genom regional samordning.

Beräknade strandfodringsvolymen (och tillhörande kostnad) som erfordras för att kompensera för stigande medelvattenyta.

År	Medelvattenyta (RH2000)	V _{Bruun} (m ³)	Årlig kostnad
2019	+17 cm		
2050	+ 33 cm	270 000	≈ 1 MSEK
2100	+ 78 cm	700 000	≈ 1,7 MSEK