
RAPPORT

KOMMUNFÖRBUNDET SKÅNE

Designförslag naturbaserade vågbrytare/rev

UPPDRAGSNUMMER 13011253



2020-10-01

MALMÖ KUST OCH VATTENDRAG

SWECO ENVIRONMENT AB

UPPDRAGSLEDARE: EMANUEL SCHMIDT
SPECIALIST, MARINBIOLOGI: STINA BRASK BILÉN

Innehållsförteckning

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Bakgrund | 1 |
| 1.1 | Friliggande vågbrytare | 2 |
| 1.1.1 | Vågbrytare som sandfällor | 3 |
| 1.1.2 | Strömmar ur ett badsäkerhetsperspektiv | 5 |
| 1.1.3 | Vad styr strandlinjens svar? | 6 |
| 2 | Områdesbeskrivning | 7 |
| 2.1 | Åhus | 7 |
| 2.1.1 | Vågor och högvatten | 9 |
| 2.2 | Båstad | 9 |
| 2.2.1 | Vågor och högvatten | 11 |
| 3 | Metodik | 13 |
| 3.1 | Modellering av vågdämpning över reven | 13 |
| 3.1.1 | ARTEMIS | 13 |
| 3.1.2 | Underlag | 13 |
| 3.1.3 | Indata | 14 |
| 3.2 | Sedimentationsmönster | 14 |
| 3.3 | Vågöverspolning | 15 |
| 4 | Lokalisering och utformningsförslag | 16 |
| 4.1 | Båstad | 16 |
| 4.1.1 | Åhus | 18 |
| 5 | Resultat | 21 |
| 5.1 | Båstad | 21 |
| 5.1.1 | Vågmodellering | 21 |
| 5.1.2 | Beräkning av vågöverspolning | 24 |
| 5.1.3 | Marinbiologiska effekter | 25 |
| 5.1.4 | Eventuella nedströmseffekter | 27 |
| 5.2 | Åhus | 27 |
| 5.2.1 | Befintligt revs funktion | 27 |
| 5.2.2 | Föreslaget rev | 29 |
| 5.2.3 | Eventuella nedströmseffekter | 32 |
| 5.2.4 | Marinbiologiska effekter | 33 |
| 5.2.5 | Påverkan på Natura 2000 | 34 |
| 6 | Slutsatser | 34 |
| 6.1 | Båstad | 34 |
| 6.2 | Åhus | 34 |
| 7 | Förslag på fortsättningsstudier | 35 |
| 8 | Referenser | 37 |

RAPPORT
2020-10-01
FEL! INGEN TEXT MED ANGIVET FORMAT I DOKUMENTET.

DESIGNFÖRSLAG NATURBASERADE VÅGBRYTARE/REV

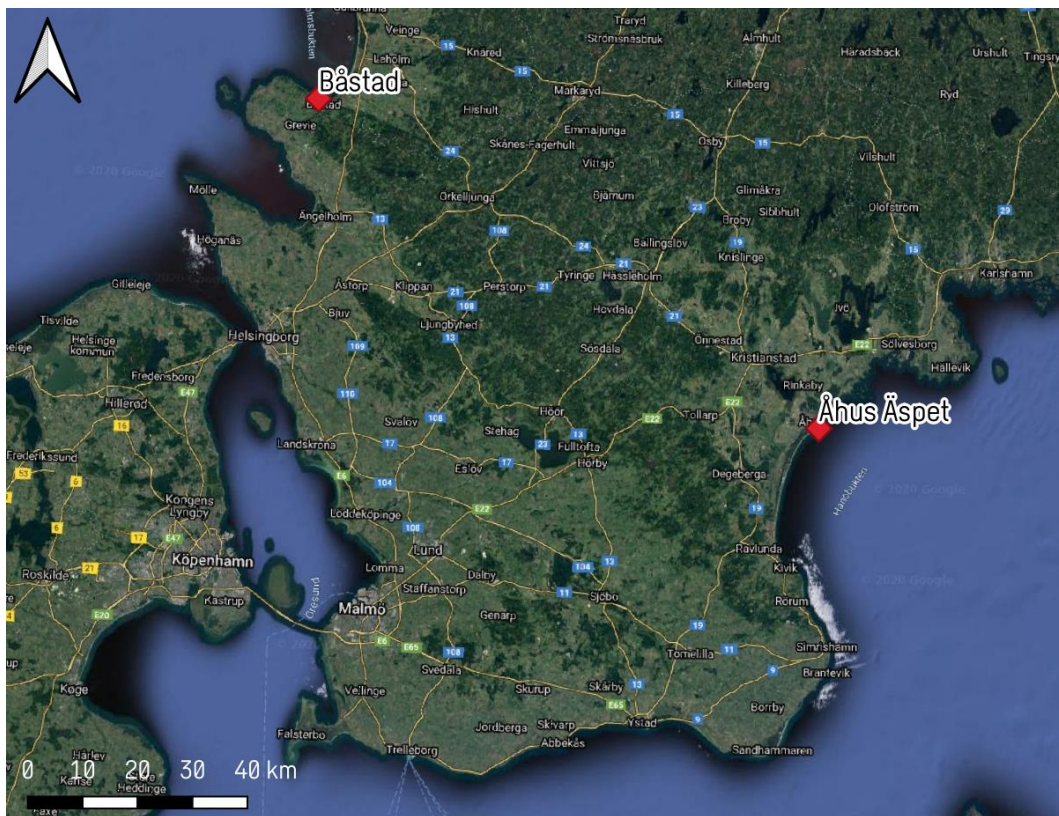
1 Bakgrund

Inom ramarna för forsknings- och utvecklingsprojektet LIFE Coast Adapt har Sweco fått i uppdrag av Kommunförbundet i Skåne att utreda om och hur stenrev kan konstrueras för att förbättra motståndskraften mot stormerosion på två platser i Skåne.

Vid Lejontrappan i västra Båstad löper en strandpromenad tätt inpå kusten, vid vilken det upprepade gånger uppstått erosionsskador till följd av kraftig vågöverspolning. Området är exponerat för relativt stora vågor från nordväst vilket ofta sammanfaller med höga vattenstånd.

Längs stranden mellan Snickarehaken och Revhaken i Åhus har akut stormerosion under en längre tid hotat fastigheter som ligger nära dynkanten. Utanför den norra delen av stranden finns ett naturligt stenrev som sannolikt bidrar till att strandplanet i lä om detsamma är bredare än omkringliggande strand. Stranden är huvudsakligen utsatt för stormerosion vid vågor från OSO – SSO i kombination med förhöjda vattenstånd.

De båda lokalernas geografiska placering visas i Figur 1-1.



Figur 1-1 Geografisk översikt över studieområdenas placering. Bakgrundskarta från Google Satellite.

En gemensam förutsättning för de båda tilltänka reven är att de ska göra ett lågt visuellt intryck i landskapsbilden och att de ska skapa förutsättningar för makroalger och marina evertebrater att etablera sig i reven.

Som teknisk grund i utformningen av reven ligger kusttekniska riktlinjer för konstruktion av konventionella friliggande vågbrytare, men designprocessen av reven har i stor utsträckning styrts av att skapa goda marinbiologiska förutsättningar.

1.1 Friliggande vågbrytare

Friliggande vågbrytare är en typ av kustskydd, vanligtvis uppfört i sten och orienterat parallellt med kustlinjen som konstrueras för att reducera vågenergin i området bakom konstruktionen. Syftet med skyddet kan vara flera, till exempel att skapa goda förutsättningar för navigation och förtöjning av båtar, minska risker kopplade till vågöverspolning eller att öka stränders motståndskraft mot erosion.

När vågor faller in mot skyddet är det tre huvudsakliga fysiska fenomen som bidrar till att vågenergin i lä av skyddet minskar; reflektion, brytning och diffraktion.

När vågor möter strukturer så reflekteras en del av vågenergin tillbaka ut mot havet och beroende på lutning och materialval av konstruktionen kan reflektionen vara olika stor. För en vertikal kaj är reflektionen uppemot 95 % av den infallande vågenergin, medan den för konventionella vågbrytare i sten vanligtvis ligger mellan 40 – 55 %.

Vågor som möter uppgrundningar blir brantare och får en kortare våglängd, och när vågen blir tillräckligt brant bryter vågen och dess rörelseenergi minskar. Efter vågor har brutit kan de dock byggas upp igen och hur stor del av rörelseenergin som minskar beror huvudsakligen på uppgrundningens djup och bredd.

Diffraktion är ett fenomen som uppstår när vågor möter ett hinder som en ö eller en konstruktion, och vågorna ändrar riktning. Diffraktionen ger upphov till att vågenergin sprids ut längs vågkammen och dess mönster beror till stor del på konstruktionens längd och eventuellt avstånd mellan vågbrytarsegment. Det ska poängteras att riktningsändringen av vågenergin även kan leda till att flankområden får en lokalt förhöjd vågenergi om de möter vågor med en annan riktning. I Figur 1-2 illustreras hur friliggande vågbrytare i Ystad ger upphov till ett diffraktionsmönster i lä om konstruktionerna.

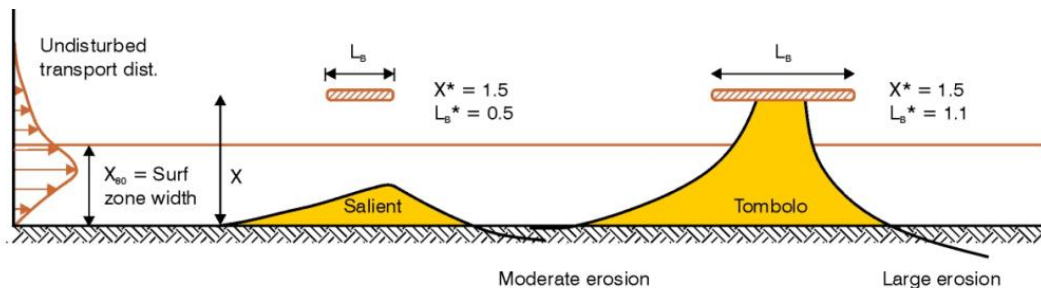


Figur 1-2 Konventionella friliggande vågbrytare i Ystad. På bilden syns tydliga diffraktionsmönster och ett strandplan med våguddar.

1.1.1 Vågbrytare som sandfällor

Internationellt sett är konstruktion av friliggande vågbrytare en vanligt förekommande åtgärd för att motverka stranderosion och de används i många fall även för att återskapa stränder som retarderat över tid. (Na'Im et al., 2018)

Sedimenttransport längs öppna kuster drivs huvudsakligen av våginducerade kustparallella strömmar. Om volymen sediment som transporteras ut från ett strandparti är större än vad som tillkommer sker en nettoförlust av sediment och stranden eroderar. I lä av friliggande vågbrytare är vågorna lägre än upp- och nedströms skyddet och drivkrafterna för kustparallella strömningar avtar därmed lokalt, vilket leder till att mindre sediment transporteras ut från aktuellt strandparti och en lärevel (eng: salient) byggs upp. Till skillnad från kustvinkelräta hövder reducerar friliggande vågbrytare sedimenttransporten förbi skyddet snarare än blockerar den totalt. Vid design av friliggande vågbrytare är det av stor vikt att tillgodose en optimal reduktion av sedimenttransporten. En för stor reduktion kan leda till att läreveln växer sig så bred att den ansluter till konstruktionen. En ansluten lärevel (eng: tombolo) blockerar sedimenttransporten med risk för betydande nedströmserosion (se Figur 1-3). (Mangor et al., 2017)

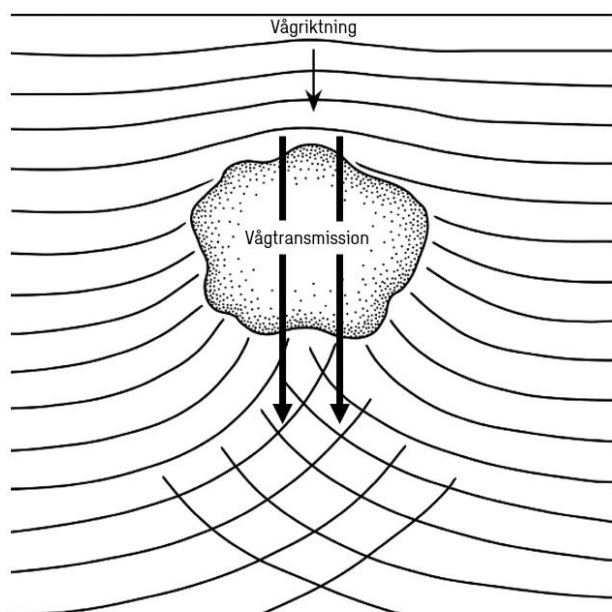


Figur 1-3 Principskiss över strandlinjens svar på friliggande vågbrytare med olika längd, vid snett infallande vågor. Med breda konstruktioner behöver avståndet till kustlinjen (x) vara större för att motverka formation av en ansluten lärevel (tombolo). (Mangor et al., 2017)

Ranasinghe & Turner (2006) konstaterar att konstgjorda rev eller undervattensvågbrytare har blivit en allt vanligare åtgärd för att kontrollera stränders erosionstakt. Väletablerade designriktlinjer för undervattensvågbrytare som erosionsskydd saknas, men författarna konstaterar att reduktionen av våghöjd och därmed även kustlinjens svar är mildare än för konventionella vågbrytare med en krönhöjd över medelvattenståndet.

Na'Im et al. (2018) konkluderar att den enskilt viktigaste parametern för design av artificiella rev är dess krönhöjd. Om vattendjupet över konstruktionen är alltför stort i förhållande till våghöjden riskerar vågorna att inte bryta över konstruktionen, vilket är det fenomen som i allra störst utsträckning bidrar till att minska vågenergin. Författarna konstaterar även att uppemot 7 av 10 undervattensvågbrytare/rev visat sig ge upphov till erosion i lä av konstruktionen. Detta fenomen kan sannolikt härledas till att överspolningen och transmissionen¹ av vågor över dessa strukturer kan vara betydligt högre än för konventionella vågbrytare. När transmitterade vågor möter diffrakterade vågor bakom skyddet kan det ge upphov till höga våghöjder i lä, vilket illustreras i Figur 1-4.

¹ Vågtransmission syftar på hindret inte reducerar våghöjden totalt utan att vågor med reducerad höjd passerar över skyddets krön.



Figur 1-4 Vågtransmission över rev kan leda till att vågor i lä om skyddet ökar till följd av att diffrakterade vågor möter transmitterade. Om krönhöjden är för låg kan transmissionen potentiellt bli så stor att lokal erosion uppstår bakom skyddet.

Ytterligare en faktor att beakta är krönets bredd. Om krönbredden är för smal kan vågorna byggas upp utanför skyddet för att sedan passera över obrutna. Det konstateras också – till skillnad från konventionella vågbrytare – att när minimikravet för krönbredden är nått så ger en utökning av bredden ingen ytterligare signifikant vågbrytning.

Det är viktigt att komma ihåg att under förutsättning att sand rör sig längs kusten, så kommer sediment i någon utsträckning ackumuleras bakom skyddet, även i frånvaro av vågor. Detta medför att en minskad transport nedströms alltid är att förvänta med denna typ av kustskydd. Konsekvenserna av en minskad sedimenttransport ska alltid vägas mot fördelarna av det man avser åstadkomma med sitt skydd.

1.1.2 Strömmar ur ett badsäkerhetsperspektiv

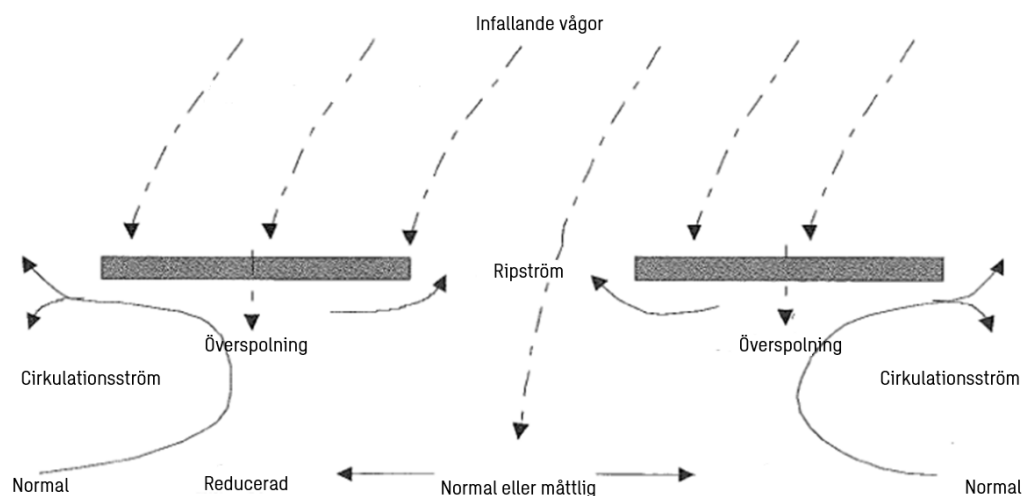
Både kring naturliga kustformationer och byggda konstruktioner förekommer ofta strömmar som kan vara farliga ur ett badsäkerhetsperspektiv. En typ av strömmar som internationellt sett ligger bakom de flesta drunkningstillbudena vid bad är ripströmmar. Ripströmmar är koncentrerade strömmar som för vatten vinkelrätt ut från kusten för att avta direkt utanför brytområdet. Strömmarna förekommer naturligt även på öppna stränder och har tidigare identifierats i sydöstra Skåne (Schmidt, 2016).

Kring friliggande vågbrytare eller rev medför konstruktionens vågdämpande egenskaper att gradienter i våghöjd (och därmed i våguppstuvning²) Då de hårda strukturerna

² Lokal vattenståndshöjning på grund av brytande vågor

blockerar tillbakaflödet av vatten skapas lokala cirkulationsströmmar kring skyddets ytterkanter (se Figur 1-5). Även masstransport över konstruktionen (genom vågöverspolning) bidra till att skapa strömmar.

För segmenterade vågbrytare föreligger risk för bildande av lokalt kraftiga ripströmmar i gapet mellan de olika segmenten, vilka kan vara en särskilt uttalad risk för badsäkerhet och lokal erosion.



Figur 1-5 Genereliserad bild av strömningsmönster bakom friliggande vågbrytare. Normal/reducerad/måttlig avser storleken på våguppstuvningen.

Styrkan i såväl cirkulations- som ripströmmar kan minskas genom att avståndet mellan segmenten ökas men även genom att öka genomsläppligheten genom konstruktionen så att vattnet kan flöda åter mot havet genom dem.

Vid design av konstgjorda rev önskas ofta en god genomsläpplighet, då hållrum i konstruktionen ger plats för fler arter av både fastsittande djur, fleråriga stora alger och betare.

1.1.3 Vad styr strandlinjens svar?

Sammanfattningsvis finns det vid design av friliggande vågbrytare ett antal parametrar som styr skyddets effekt, både avseende vågdämpning och ackumulation av sediment:

- Längd och bredd av vågbrytaren
- Avstånd till strandlinjen
- Krönhöjd
- Materialval
- Placering i förhållande till inkommande vågor och befintlig strandlinje

2 Områdesbeskrivning

I följande underkapitel beskrivs de platsspecifika förutsättningar avseende hydrodynamik, vågor och sedimenttransport som föreligger på respektive plats.

2.1 Åhus

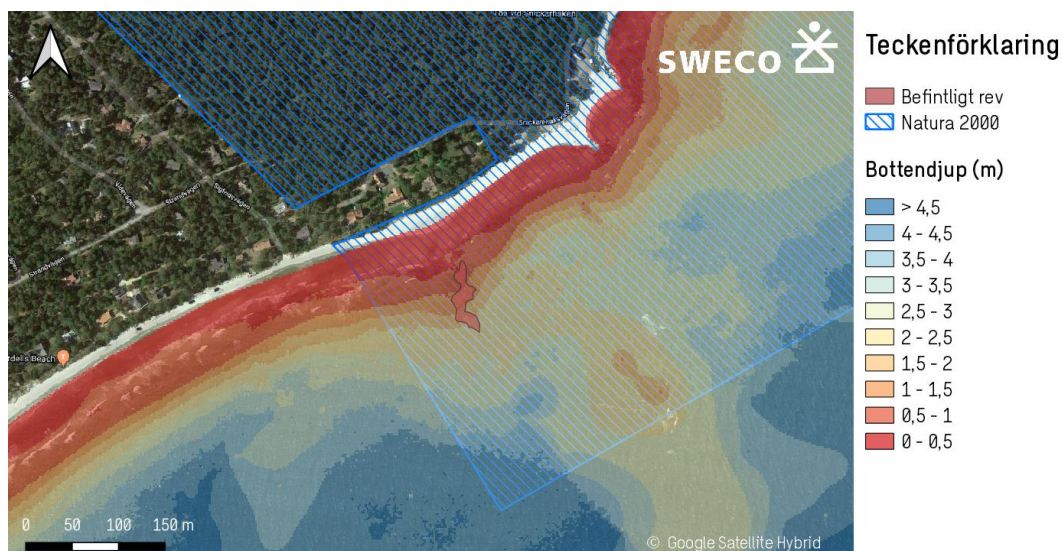
Söder om Åhus löper en kustremsa, mellan Snickarehaken och Revhaken, som under en längre period upplevt problem med stranderosion, särskilt i samband med stormar. I strandens norra delar finns bebyggelse mycket nära dynkanten och längs flera sträckor har hårda kustskydd uppförts. Längre söderut på samma strand är erosionsproblematiken inte lika uttalad, utan stranden tycks snarare växa till. I en studie av DHI (2018) konstaterades att nettotransporten³ av sediment är låg (1000 m³/år) och riktad åt sydväst, se Figur 2-3.



Figur 2-1 Översiktlig bedömning av sedimenttransportmönster, från DHI (2018).

Delar av den norra stranden ingår i ett Natura2000-område, den geografiska utbredningen av området kan ses i Figur 2-2. I detta område återfinns ett naturligt stenrev av cirka 2000 m² på ett avstånd cirka 50–80 m från nuvarande strandlinje. Sydöst om revet återfinns ett grundområde med ett djup av cirka 2 meter.

³ Nettotransport är ett mått på den transport som ger upphov till långsiktiga förändringar av sedimentfördelningen längs stranden. Bruttotransport är ett mått på den årliga sedimenttransporten längs kusten.



Figur 2-2 Bottendjup kring befintligt rev, samt utbredningsområde för Natura 2000-området.

I lä av revet är stranden något bredare än i närområdet, även om strandplansbredden tycks ha en relativt stor årlig variation (se Figur 2-3). Ansamlingen av sediment kan sannolikt härledas till revets vågdämpande egenskaper.

I Figur 2-3 visas flygfotografier från stranden under en tidsperiod av 8 år. Det kan noteras att lärevelns utredning åt havs omkring år 2015 är relativt liten och samtidigt tycks strandplanet norr om revet bredare än vid andra fototillfällen. Sannolikt har fototillfället föregåtts av en period med nordlig sedimenttransport, där sanden förflyttats norrut mot Snickarehaken.

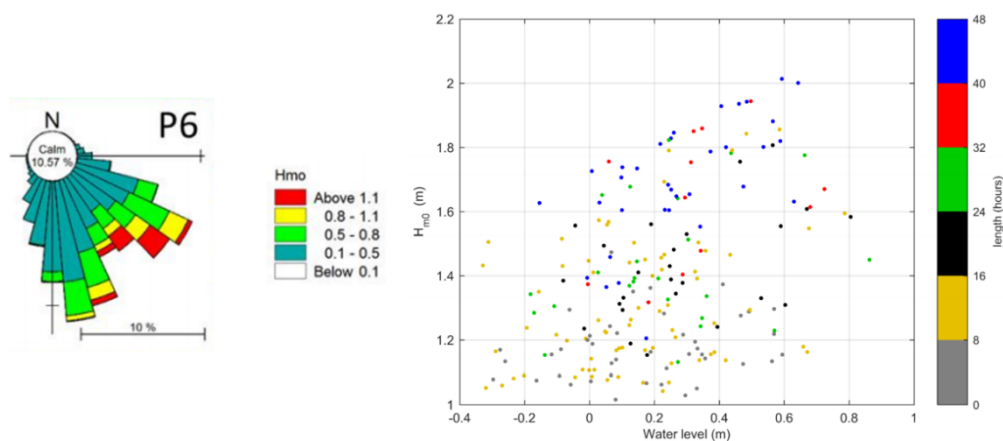


Figur 2-3 Från flygfotografier kan det tydligt ses att stranden varierar i sitt utseende mellan en tydlig bågformad rev, för att i perioder vara rakare. Inomårsvariationen i strandens utseende är stor. Bildkälla: Google Earth.

2.1.1 Vågor och högvatten

DHI har på uppdrag av Kristianstad kommun genom vågmodellering kartlagt vågklimatet utanför kommunens kust. I rapporten redovisas uppgifter över det generella vågklimatet på 5 meters djup utanför Äspet. Det framgår att den förhärskande vågriktningen är OSO-SSO, där de största våghöjderna tycks uppträda vid vågriktningar från SO (se vågros t.v. i Figur 2-4). Våghöjden med tre återkomsttider (1, 5 och 10 år) har beräknats till 1,85 m, 1,99 m och 2,16 m respektive. (DHI, 2018)

Eftersom reven planeras på relativt grunda områden är dock vattenståndets korrelation med våghöjder av stor vikt. DHI (2018) presenterar i samma rapport en korrelationsanalys över vattenstånd och våghöjd, vilken antyder att de största vågorna under den studerade tidsperioden inte uppträder samtidigt som de högsta vattenstånden. I Figur 2-4 t.h. kan det utläsas att de största vågorna under den studerade tidsperioden uppstår samtidigt som vattenstånd på omkring +0,6 meter. Det ska poängteras att dataserien är kort (10 år), och några definitiva slutsatser kring korrelationen kan inte dras. Studier kring Kivik visar dock att det tycks finnas en korrelation mellan höga våghöjder och höga vattenstånd (Reinodt & Österlund, 2020).



Figur 2-4 Kustnära vågklimat vid Äspet, samband mellan maximal signifikant våghöjd och högsta vattenstånd. DHI (2018).

2.2 Båstad

I ett kustnära område väster om Båstad löper en strandpromenad som under det senaste decenniets kraftiga stormar vid flera tillfällen ådragits kraftiga erosionskador. Strandpromenadens beläggning har spolats bort och VA-ledningar har blottlagts, se Figur 2-5. Utanför strandpromenaden finns en stensköning uppförd, vilken har en varierande höjdsättning mellan 2,6 – 3,4 m (RH2000).



Figur 2-5 Erosionsskador på strandpromenaden längs kusten. I bilden syns hur beläggning spolats bort och VA-ledningar blottlagts.

Tidigare utredningar (Sweco, 2017) pekar på att nettotransporten av sediment omkring Båstad generellt är östlig. Den nordliga pirarmen blockerar i hög utsträckning sedimenttransporten vilket har lett till att stranden vid Malen, öster om hamnen, över tid varit utsatt för erosion. I detta område kan tydlig ackumulation ses väster om de hövder som går ut vinkelrätt från stranden (markerat i rött i Figur 2-6). Skansenstranden, väster om hamnen, har haft en betydande tillväxt sedan 60-talet, vilket synliggörs vid jämförelse med historiska ortofoton i Figur 2-7.



Figur 2-6 Huvudsaklig riktning av sedimenttransport (Sweco, 2017).

I takt med att Skansenstranden har växt till kan enligt uppgift från Båstad kommun även viss ackumulation av sediment skönjas i det område som idag är utsatt för skador till följd av vågöverspolning.

För att få bukt med de överspolningsrelaterade erosionsskador som uppstår på strandpromenaden väster om stranden i samband med stormar behöver våghöjden reduceras.



Figur 2-7 Jämförelse av Skansenstranden mellan 60-talet och 2020. Stranden har haft en betydande tillväxt, vilket bekräftar att sedimenttransporten huvudsakligen är av östlig riktning. Bildkälla Eniro.se, historiska flygfoton.

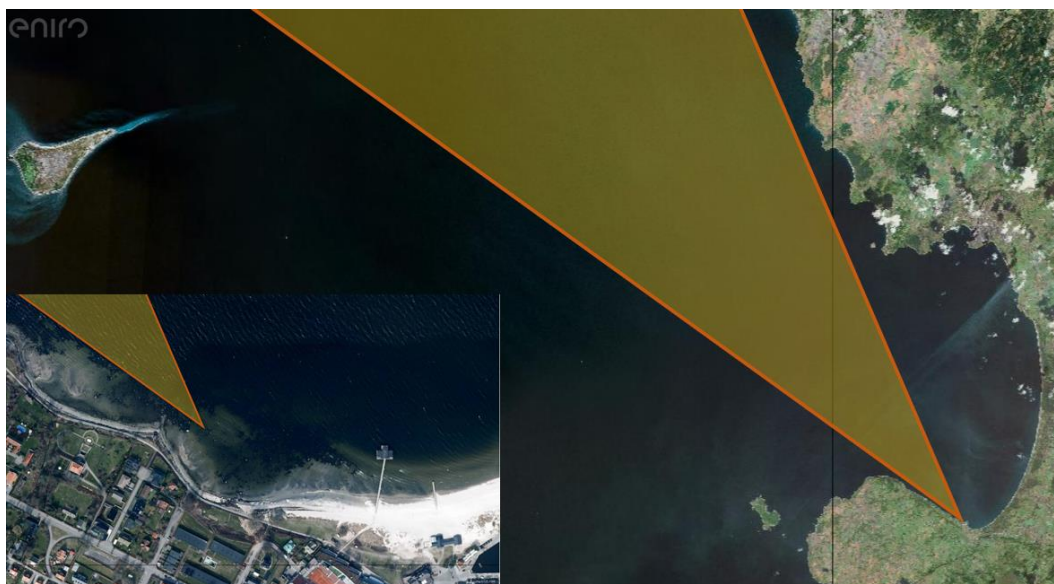
2.2.1 Vågor och högvatten

Till följd av den flacka kustlinjeslätten utanför studieområdet är våghöjden starkt kopplad till rådande vattenstånd. En vedertagen tumregel inom kusthydraulik är att den maximala våghöjden på grunt vatten är cirka 0,8 gånger vattendjupet, innan vågen bryter. På långgrunda kuster, som vid Båstad, är därmed våghöjden oftast djupbegränsad.

Sweco har tidigare, på uppdrag av Båstad kommun, översiktligt beräknat vågklimatet i Båstad hamn. Utifrån stryklängder och ett antal vindscenarier konstaterades att signifikanta våghöjder på uppemot 4,5 meter kan nå Båstad (Sweco, 2019). Så stora våghöjder når dock inte kusten, utan omformas och bryts innan de slutligen når strandplanet. I föreliggande studie har det konstaterats att den begränsade faktorn för våghöjden i anslutning till berörd plats är vattenståndet snarare än våghöjden på djup vatten.

Återkomsttider för högvatten har tidigare beräknats utifrån mätdata från SMHI:s vattenståndsmätare i Viken (1976–2018) i brist på vattenståndsmätningar på ett närmare geografiskt avstånd. Det ska poängteras att vinduppstuvning lokalt kan leda till än högre nivåer i Båstad. Nivån (relativt medelvattenytan) för 10, 50 och 100 år har beräknats till +1,47 m, +1,8 m och +1,94 m respektive. (Sweco, 2019)

Båstads läge på Bjärehalvön medför att kusten är relativt skyddad från många vågriktningar men exponerad för vågor från nordväst (300–335°), vilket åskådliggörs i Figur 2-8.



Figur 2-8 Huvudsaklig riktning av vågor som kan orsaka problematiska vågförhållanden i Båstad. Bildkälla: Eniro.se.

3 Metodik

I följande kapitel presenteras en bakgrund till metodiken bakom denna studie. Metodiken innefattar bland annat modellering, design av strandlinjesvar och för Båstad även vågöverspolningsberäkningar.

3.1 Modellering av vågdämpning över reven

Vid modellering av vågor i kustnära områden där vågklimatet i stor utsträckning påverkas av batymetrin behöver en beräkningsmodell som tar hänsyn till de fysikaliska processer som omformar vågorna användas. I föreliggande projekt har en vågmodell upprättats i programvaran ARTEMIS.

3.1.1 ARTEMIS

ARTEMIS (Agitation and Refraction with TElemac on a Mild Slope) är en programvara som löser Mild-slope-ekvationen med avseende på våghöjd, vågfas och vågriktning. Modellen upprättats genom ett beräkningsnät, där beräkningar sker i varje nod mellan trianglarna. Modellen är en s.k. fasupplöst vågmodell, vilket medför att den kan beskriva fasförskjutningar av vågor till följd av reflektion mot hinder, riktningssändringar till följd av uppgrundningar och liknande relevanta processer i grunda kustvatten. ARTEMIS är en välbeprövad programvara utvecklad inom TELEMAC-familjen⁴. Mer specifikt tar beräkningarna hänsyn till:

- Bottenrefraktion
- Diffraktion kring hinder (öar, pirar och dylikt)
- Energiförluster genom vågbrytning
- Bottenfriktion
- Delvis eller fullständig reflektion av vågor mot pirar, sponter, vågbrytare och liknande.

3.1.2 Underlag

Djupdataunderlaget i Båstad bygger på djupinformation från tillgängliga sjökort. Kvaliteten på underlaget är av låg upplösning och fångar inte de kustnära variationer som exempelvis sandrevlar ger upphov till. Med hjälp av högupplösta flygfotografier har viss manuell korrigering av djupdata utförts för området allra närmast intresseområdet.

Djupdataunderlaget i Åhus bygger på djupinformation insamlad av SGU under Projekt Skånestrand (Persson et al., 2016). Underlaget har kompletterats med djupangivelser som noterats vid inventering av befintligt rev⁵ för att skapa en så god bild över revets vågdämpande egenskaper som möjligt. Utifrån registrerade djup och tillgängliga flygfotografier har en tredimensionell bottenstruktur tagits fram genom interpolation.

⁴ Se <http://www.opentelemac.org> för mer information om verktyget.

⁵ Bifogad till FFU, inventering daterad 2019-10-29.

3.1.3 Indata

Utifrån DHI:s utredning av vågklimatet i Kristianstad har två typscenarier av vågor tagits fram för Äspet, ett med en dominerande vågriktning på 110° (100–140°) och ett med 160° (140–170°). Vid samtliga modelleringar har randvillkoren (på 5 meters djup) utgått från en signifikant våghöjd av 1,85 meter, vågperiod (T_p) av 5,5 sekunder och med ett vattenstånd av +0,6 meter (RH2000). Dessa förhållanden återkommer uppskattningsvis årligen.

För stranden i Båstad har ett huvudsakligt vågscenario beaktats. Den dominerande vågriktningen har ansatts till 325° med en spridning mellan 300–335°. Den signifikanta våghöjden på djupt vatten har ansatts till 4,0 meter med en vågperiod (T_p) av 6,0 sekunder. Modelleringen har utförts för tre olika vattenstånd; +0,5 m, +1,0 m samt +1,5 m (RH2000).

3.2 Sedimentationsmönster

För konventionella vågbrytare finns vedertagna tumregler för optimal design med hänsyn till önskat ackumulationsmönster i lä av konstruktionen. För konstruktioner med lågt krön eller artificiella rev pågår fortfarande diskussioner i forskningsamfundet, men ett antal olika förslag till riktlinjer för förhållandet mellan konstruktionens längd (L) och avstånd till kustlinjen (X) finns föreslagna. I föreliggande utredning har två metoder använts för att utvärdera detta förhållande. Det första är beskrivet i Coastal Engineering Manual (US Army Corps of Engineers, 2002) och presenteras i Tabell 3-1.

Tabell 3-1 Typ av strandlinjesvar i US Army Corps of Engineers (2002).

| Typ av formation | Spann av L/X | Medelvärde för L/X |
|------------------|---------------|--------------------|
| Ansluten lärevel | > 0,67 – 2,5 | > 1,5 |
| Lärevel | 0,4 – 1,5 | 0,8 |
| Ingen förändring | ≤ 0,125 – 0,5 | < 0,25 |

Ahrens & Cox (1990) föreslår att sandstränders svar på artificiella rev kan förutsägas utifrån ett "beach response index", I_s :

$$I_s = \exp(1,72 - 0,41 * \frac{L}{X}).$$

Författarna delade in strandlinjens svar i fem underkategorier efter hur tydlig ackumuleringen är, se Tabell 3-2.

Tabell 3-2 Typ av strandlinjesvar i Ahrens & Cox (1990).

| Typ av formation | I_s |
|----------------------------|-------|
| Permanent ansluten lärevel | 1 |

| | |
|-----------------------------|---|
| Periodiskt ansluten lärevel | 2 |
| Välutvecklad lärevel | 3 |
| Mild lärevel | 4 |
| Ingen förändring | 5 |

Friliggande vågbrytare fångar upp sand som rör sig längs kusten, även om nettotransporten av sediment i ursprungsläget är noll. Det är bruttotransporten, alltså hur mycket sand som årligen rör sig längs kusten, som styr hur mycket sand som kan fångas upp. Konstruktion av friliggande vågbrytare kommer därför alltid ge upphov till förändringar i sedimentbalansen på stränder. (Mangor et al., 2017)

3.3 Vågöverspolning

Vid beräkning av vågöverspolning finns det ett antal parametrar som styr den erforderliga höjden av skyddet. I första hand behöver den acceptabla överspolningen utvärderas, det vill säga hur stort flöde man kan tolerera över skyddet. I föreliggande studie har den acceptabla överspolningen ansatts till ett medelflöde av 1 liter per sekund och löpmeter. Denna generella riktlinje är hämtad från EurOtop (2018) och gäller för byggnadselement (building structure elements).

De huvudsakliga fysiska faktorerna som styr skyddets höjd är:

- Förväntade nivåer av extrema vattenstånd
- Förväntad våghöjd utanför skyddet
- Vinkel av infallande vågor
- Typ av skyddskonstruktion samt materialval
- Djupförhållanden utanför skyddet

EurOtop är europeisk kustingenjörsmanual som syftar till att beskriva teori, beräkningsmetodik och en detaljerad sammanställning av den senaste kunskapen kring överspolning av vågor över olika typer av kustskydd. Manualen är framtagen genom ett samarbete av ett flertal europeiska universitet under finansiering av UK Environmental Agency och Rijkswaterstaat – Water, Verkeer en Leefomgeving (Nederländerna).

Manualen bygger på metoder och data från vetenskapliga studier huvudsakligen i Europa och USA och till grund för den beräkningsmetodik som beskriver överspolning ligger en databas med mer än 13 000 fysiska test, både in situ och i laboratorium.

Alla de prediktionsmetoder som ges i EurOtop har begränsningar i sin träffsäkerhet. Trots att det empiriska underlaget är stort finns en betydande spridning i den data som ligger till grund för beräkningsmetodiken. För att hantera osäkerheterna i designprocessen av kustskydd har författarna till manualen valt att införa en ”*design or assessment*”

approach” som introducerar en osäkerhetsfaktor i storleksordningen en standardavvikelse, för att minimera risken att överspolningen underskattas.

Beräkningsmetodiken möjliggör bland annat en uppskattning av medelöverspolningen (i liter per sekund och meter) som en funktion av konstruktionens krönhöjd. Utifrån resultaten kan man således optimera ett skydd utifrån vilken platsspecifik överspolning man anser vara acceptabel. (EurOtop, 2018)

4 Lokalisering och utformningsförslag

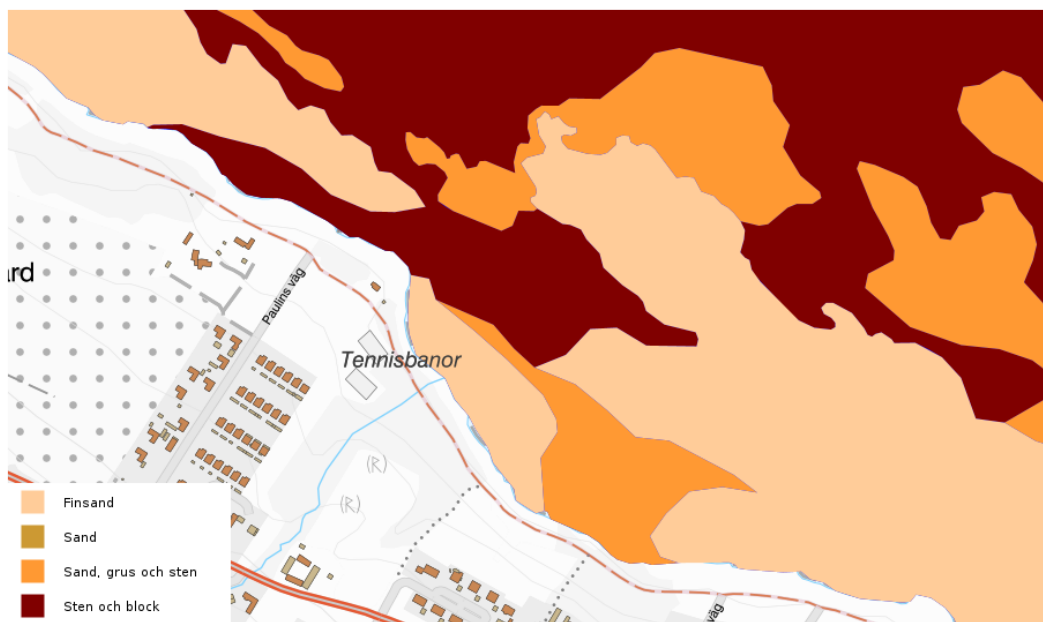
4.1 Båstad

En av revets huvudsakliga funktioner i Båstad är att dämpa vågenergin längs den sträcka av strandpromenaden där störst erosionsskador observerats efter stormar. De stormar som på senare tid orsakat både höga vattenstånd och erosionsskador har haft en dominerande vindriktning från sydväst – nordväst. De allra största våghöjderna har beräknats uppstå från nordväst, vilket sammanfaller med den riktning stranden är mest exponerad för, och det är således dessa vågor revet bör designas för att skydda mot.

Kustområdet inom vilket ett stenrev får anses vara lämpligt att placera är relativt grunt med ett bottendjup mellan 0,5 – 2 meter. Det studerade området har i samband med storm ofta mycket höga vattenstånd (i förhållande till Åhus) och den styrande faktorn för våghöjden i kustnära området är således vattenståndet. En förutbestämd designförutsättning för revet är att dess krönhöjd maximalt ska ligga i nivå med medelvattenståndet. Under stormar med höga vattenstånd kan revet således ligga på ett djup av 1 – 2 meter, vilket avsevärt reducerar dess effektivitet avseende vågdämpning.

För att ha så goda vågdämpande egenskaper som möjligt bör ett skydd ha så stor effektiv yta som möjligt mot den dominerande vågriktningen. I Figur 2-8 visualiseras den infallsvinkel för de störst infallande vågorna i området. Eftersom området är på relativt grunt vatten så ska det även tas hänsyn till viss bottenrefraktion (att vågorna böjer av in mot strandlinjen), och skyddets effektiva yta därmed vridas något åt nord.

Ytsubstratet på botten i aktuellt område varierar mycket lokalt mellan sten och block, sand, grus och sten och närmast kusten finsand. En karta över ytsubstratet, hämtad från SGU:s kartvisare Maringeologi visas i Figur 4-1.



Figur 4-1 Ytsubstrat på stranden väst om Skansenstranden, från SGU:s kartvisare Maringeologi. Ytsubstratet vid föreslagen lokalisering är varierat men vid aktuellt rev är det en blandning av finsand och större sten och block.

I Figur 4-2 presenteras två utformningsalternativ av stenrev, båda två identiska i geografisk utbredning och djup, men på olika avstånd från kusten vid vilka de avser dämpa vågor. Det högsta området (markerat i mörkgrå) har en höjdsättning i nivå med medelvattenståndet.

För det inre revet har *beach response index* (Ahrens & Cox, 1990) beräknats till $I_s = 3,7 - 4,2$, och L/X (US Army Corps of Engineers, 2002) till $0,53 - 0,7$. För det yttre revet har *beach response index* (Ahrens & Cox, 1990) beräknats till $I_s = 4,2 - 4,5$, och L/X (US Army Corps of Engineers, 2002) till $0,7 - 1$. Dessa indextal ligger inom intervallen för utvecklandet av en lärevel men väl utanför spannet för anslutna lärevar.

Reven har designats för att ha en exponerad yttersida mot nord – nordnordväst över vilken den huvudsakliga vågbrytningen förväntas ske. Innersidan är större till sin yta och syftar till att ge goda förutsättningar för etablering av makroalger.



Figur 4-2 Två designalternativ av föreslaget rev.

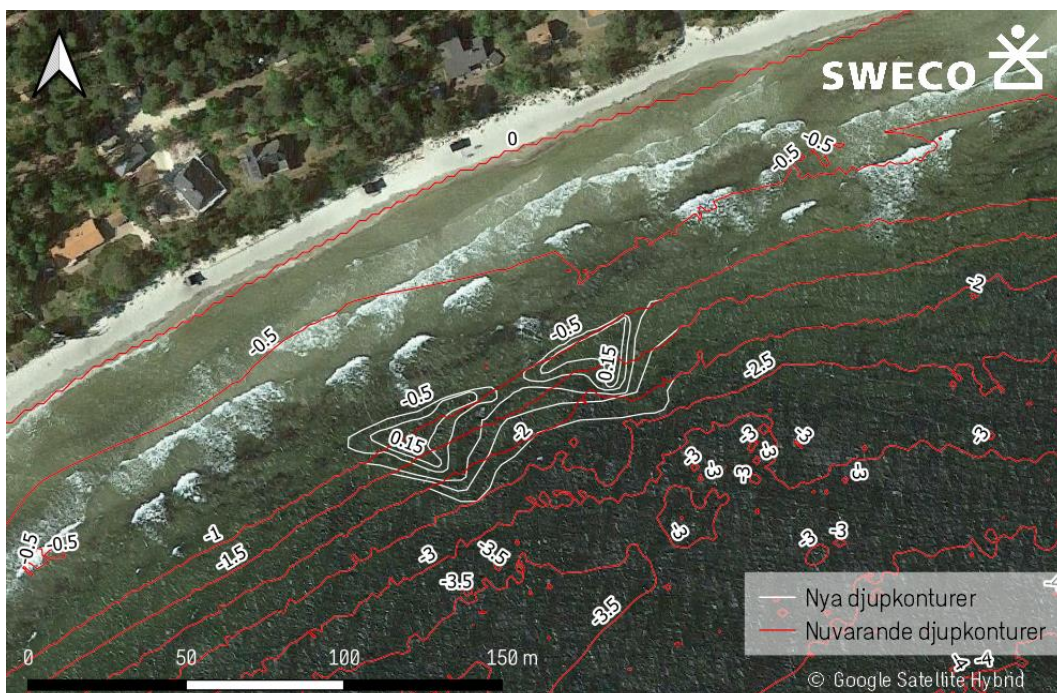
4.2 Åhus

Det befintliga stenrevet tycks utgöra ett effektivt och naturligt erosionsskydd och har fått vara referens vid framtagande av utformningen av ett ytterligare, konstgjort rev. Vid en inventering som utfördes på det befintliga revet 2019 noterades att revet huvudsakligen består av grov sten och block av varierande storlek från cirka 20 - 350 cm och att delar av revet ligger omkring medelvattenståndet. De centrala delarna av revet består av mycket grovt substrat med block mellan 50 cm – 200 cm och enstaka ännu större block. De yttre delarna av revet uppvisade något finare substrat med sten och block från 10 cm - 70 cm och utspridda större block.

Då dagens rev, genom sina sandfångade egenskaper, sannolikt är en bidragande orsak till att strandplanet söder om detsamma är mycket smalt kan det förväntas att ett nytt rev kan få likartade konsekvenser nedströms. Föreslaget rev har designats för att öka strandplanets bredd längs en sträcka på cirka 120 meter där strandplanet är som smalast.

Den utformning som presenteras nedan är designad för att skapa en längre lärevel än det befintliga revet utan att dess utsträckning åt havet blir större. För att åstadkomma detta strandlinjesvar behöver även revets längd (vinkelrätt mot vågriktningen) vara längre. Om revets längd blir för stor föreligger dock en risk att den kustparallella strömningen avtar så pass mycket att en ansluten lärevel bildas. För att motverka detta har revet delats upp i två lika långa segment, enligt samma princip som de segmenterade vågbrytare som visas i Figur 1-2. Revets höjsättning är i paritet med det befintliga revet, men de två segment

som utgör stommen i revets vågbrytande funktion är mer accentuerade. Den högsta krönhöjden är ansatt till +0,15 m (RH2000) vilket motsvarar 2020 års medelvattenstånd (SMHI, 2020). Revets djupangivelser och lokalisering presenteras i Figur 4-3, där de vita linjerna motsvarar djupkonturer efter revets anläggande och de röda linjerna de ursprungliga djupkonturerna.



Figur 4-3 Ursprungliga och framtida djuplinjer vid anläggande av föreslaget rev.

Designen av föreslaget rev har utgått ifrån de riktlinjer kring strandlinjesvar som tidigare beskrivits i kapitel 3.2. Utifrån de måttangivelser som presenteras i Figur 4-4 bör revet enligt US Army Corps of Engineers (2002) ge en utvecklade lärevel och ger enligt Ahrens & Cox (1990) ett "beach response index", $I_s = 3,6 - 4,5$, vilket motsvarar utveckling av en mild till välutvecklad lärevel. De beräknade nyckeltalen är i samma storleksordning som det befintliga revet.



Figur 4-4 Måttangivelser för segmentens längd ($L=35\text{ m}$) och avstånd till strandlinjen ($x=65\text{ m}$).

Botten på vid den föreslagna placeringen består huvudsakligen av sand, grus och sten (se Figur 4-5).



Figur 4-5 Ytsubstrat på stranden mellan Snickarehaken och Revhaken, från SGU:s kartvisare Maringeologi. Ytsubstratet vid föreslagna lokalisering är sand, grus och sten.

5 Resultat

5.1 Båstad

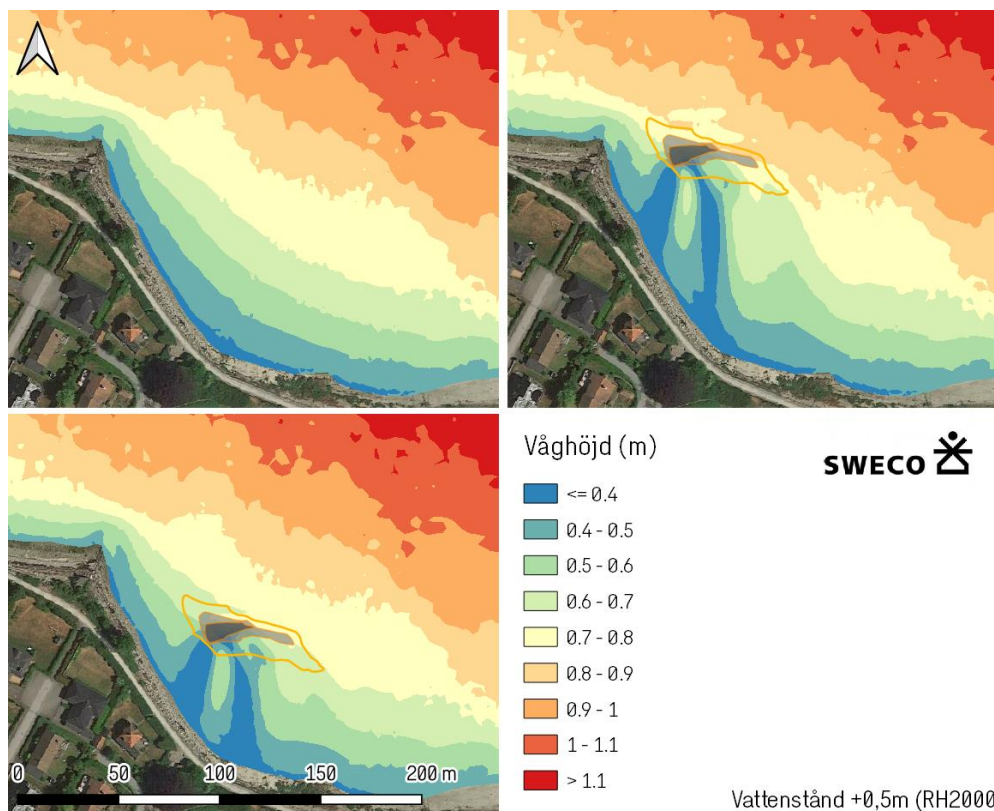
Vågmodelleringen av föreslagna rev i Båstad utgår från tre olika beräkningsnät:

1. Nuläge, baserat på djupdata från sjökort.
2. Introduktion av ett rev i höjd med befintlig hövd.
3. Introduktion av ett rev söder om befintlig hövd.

Modellerna har använts för att beräkna vågdämpningen vid tre olika vattenstånd (se kapitel 3.1.3).

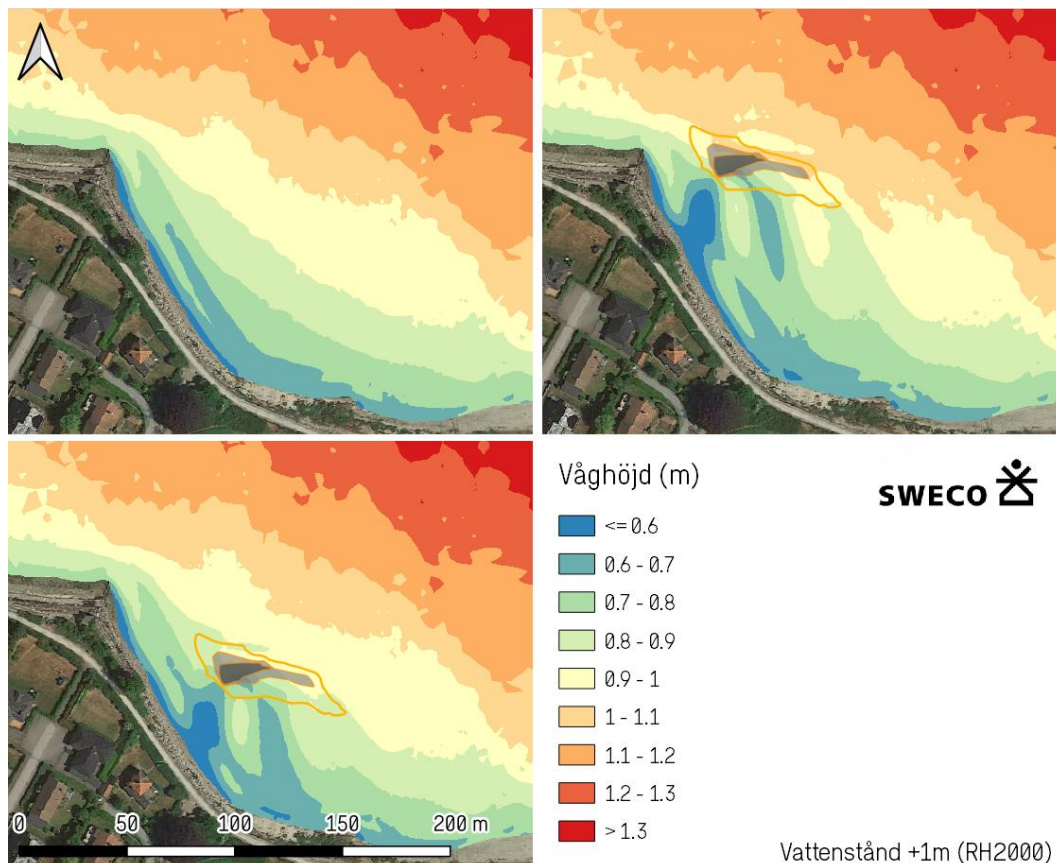
5.1.1 Vågmodellering

Av Figur 5-1 (vattenstånd +0,5 m RH2000) framgår att våghöjden reduceras med uppemot 50 % direkt bakom reven. Föreslagna rev tycks även ge ökad vågdämpning vid strandlinjen, även om den är mindre accentuerad. Figuren antyder även att revet kan ge upphov till förhöjda våghöjder direkt i lä av föreslagna rev, vilket eventuellt skulle kunna medföra lokal erosion bakom skyddet.



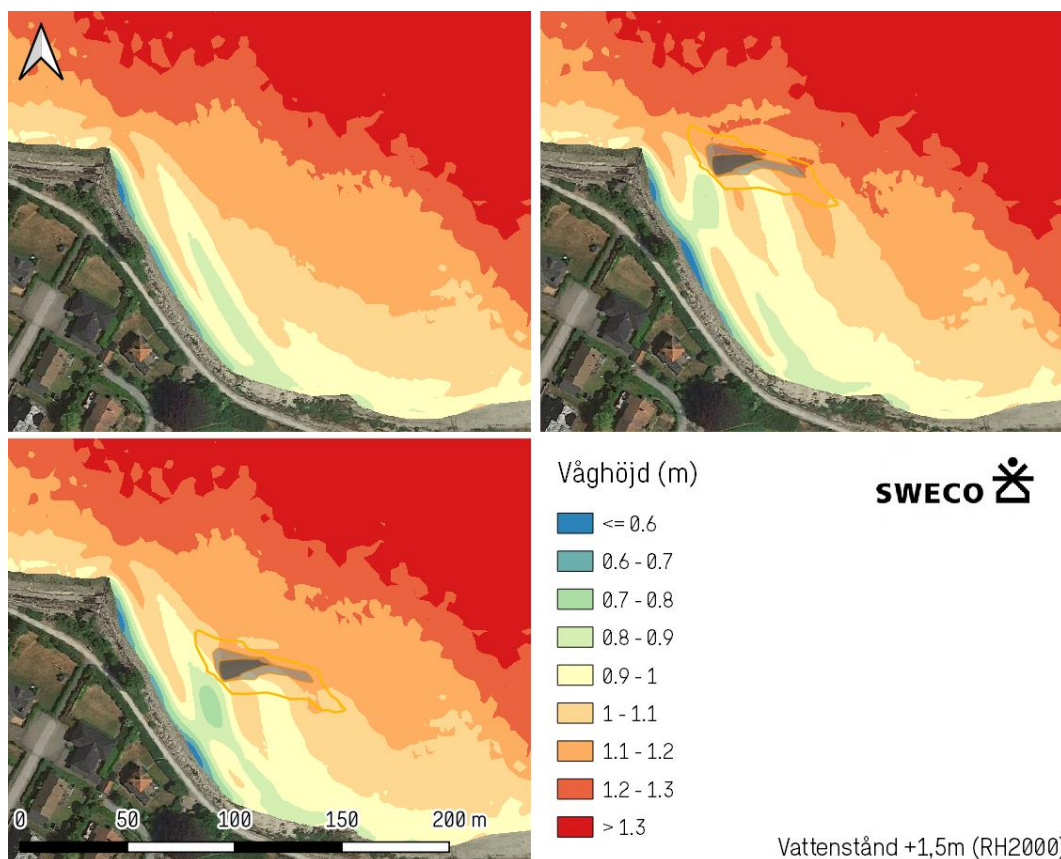
Figur 5-1 Modellresultat av vågdämpning från de två alternativa lokaliseringarna, vid ett vattenstånd av +0,5 m (RH2000).

Modellresultatet för modellering med ett vattenstånd av +1,0 m (RH2000) visar på en uttalad men något lägre vågdämpning (Figur 5-2) än resultat från simulering med +0,5 m vattenstånd. Notera att trots att våghöjden på djupt vatten (randvillkor) är densamma för samtliga modelleringsscenarier så når en högre våghöjd kusten och tilltänkta rev när vattenståndet förhöjs. Färgskalan för våghöjd skiljer sig mellan de olika modellerade scenarierna. Även för detta scenario tycks revet orsaka lokalt förhöjda våghöjder i lä av skyddet.



Figur 5-2 Modellresultat av vågdämpning från de två alternativa lokaliseringarna, vid ett vattenstånd av +1,0 m (RH2000). Notera att färgskalan skiljer sig relativt Figur 5-1.

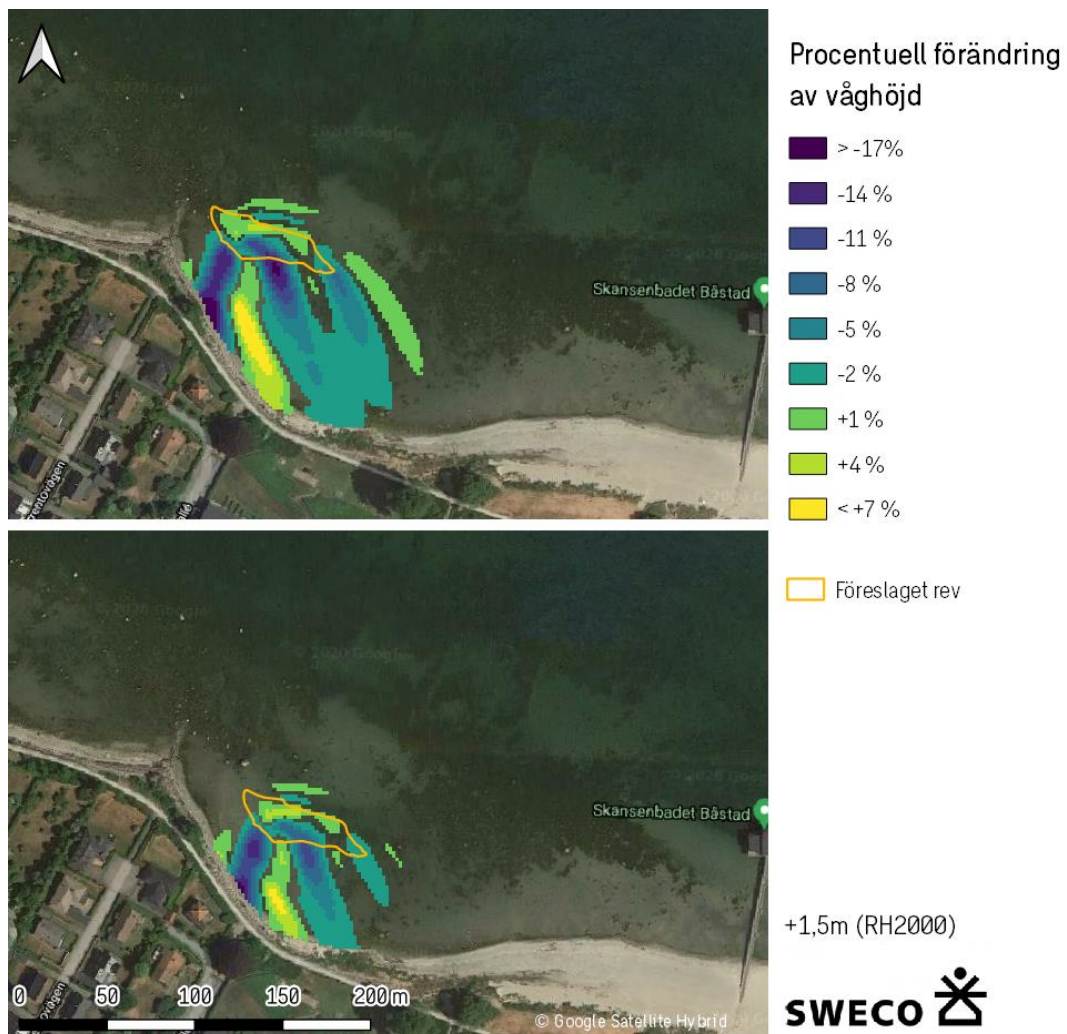
Vid ett vattenstånd av +1,5 m (RH2000) visar modellresultaten (Figur 5-3) en än mindre procentuell vågdämpning. Likt föregående scenarier ger även detta upphov till lokalt förhöjda våghöjder i lä av skyddet.



Figur 5-3 Modellresultat av vågdämpning från de två alternativa lokaliseringarna, vid ett vattenstånd av +1,5 m (RH2000). Notera att färgskalan skiljer sig relativt Figur 5-1.

Modellresultaten från vågmodelleringen antyder att båda modellerade rev har en tydlig vågdämpande funktion och att det område inom vilket våghöjden är dämpad sträcker sig helt in mot dagens kustlinje. Modellering visar att revet har en tydlig vågbrytande effekt vid ett havsvattenstånd uppemot drygt +1,0 meter. Scenariot med ett vattenstånd på +1,5 meter visar dock att vågorna i mindre utsträckning bryter över revet och således tillåter en större transmission av vågor. Trots att brytningen blir lägre bidrar dock reven, även vid ett vattenstånd av +1,5 meter, till att generellt minska våghöjderna bakom skyddet, delvis på grund av friktionsförluster över revet, men också då vågenergin genom diffraktion sprids ut längs infallande vågkammor.

De lokalt förhöjda våghöjderna i lä av skyddet medför dock att det finns en risk att reven inte fyller sin funktion som vågdämpande skydd längs hela den utsatta kustremsan. De ökade våghöjderna kan istället leda till förhöjd överspolning längs delar av sträckan. Våghöjdernas förändring till följd av revet relativt nuläget presenteras som en procentuell förändring i Figur 5-4.



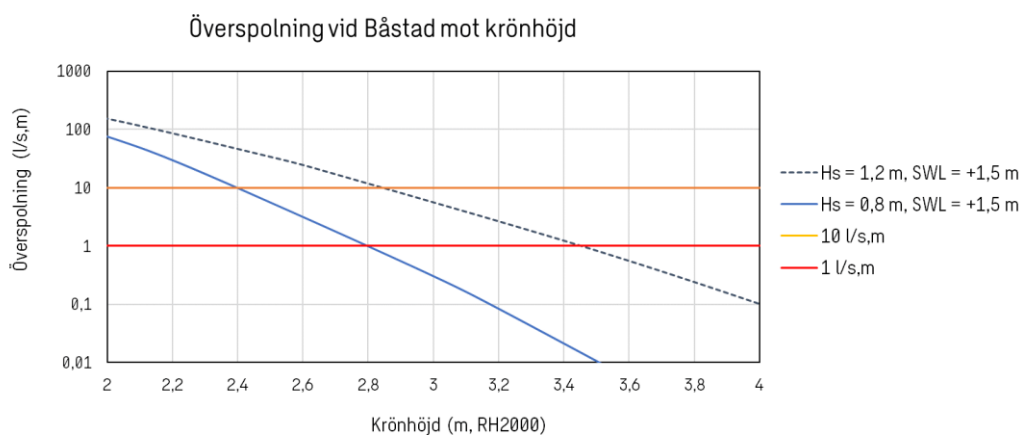
Figur 5-4 Procentuell förändring av våghöjd över föreslagna rev vid +1,5 m (RH2000).

Skyddet kan flyttas än närmare kusten för att i större utsträckning ackumulera sediment men då föreligger sannolikt även en risk för att anslutna lärevlar bildas och samtidigt minskar de marinbiologiska fördelarna medrevet.

5.1.2 Beräkning av vågöverspolning

Den signifikanta våghöjden framför dagens stenskonung uppgår enligt utförd modellering (vid +1,5 meter vattenstånd) till storleksordningen 1,2 meter. Överspolningsberäkningarna bygger på ett antagande om att stenskonungens lutning är 1:2, att vågor faller in vinkelrätt mot skyddet och att stenskonungen har ett dubbelt skyddslager sten. Beräkningar av överspolning längs strandpromenaden i Båstad visar att en storm med 10-års återkomsttid (+1,47 m relativt medelvattenståndet) ger en erforderlig krönhöjd på cirka +3,5 meter för att möta riktlinjer av 1 l/s,m överspolning.

I Figur 5-5 visualiseras resultat från överspolningsberäkningarna. Skärningspunkterna mellan de två exponentiellt avtagande linjerna och den röda linjen ger erforderlig krönhöjd. Den svarta streckade linjen visar överspolningen under modellerade förhållanden medan den blå linjen visar överspolningen vid en våghöjd reducerad till 0,8 meter, med samma vattenstånd av +1,5 m (RH2000).



Figur 5-5 Beräknad överspolning (i l/s,m) relativt krönhöjden av en stenskonig.

För att dagens krönhöjd (+2,8 m, RH2000) ska vara tillräcklig för att möta samma riktlinje behöver våghöjden reduceras till 0,8 meter. Föreslagna rev kan för delar av sträckan vara tillräckligt för att tillgodose denna reduktion, men inte för hela den erosionsutsatta sträckan. För att hålla nere överspolningen till acceptabla nivåer behöver skyddet således kompletteras med ett förstärkt skydd på land.

5.1.3 Marinbiologiska effekter

Den biologiska mångfalden är vanligen hög på växtklädda bottenar längs Västkusten och antalet algararter är oftast avsevärt högre än på Sveriges ostkust. Storvuxna algskogar av tång och tare är viktiga miljöer för många organismer men dessa har under de senaste tjugo åren minskat sin utbredning längs delar av kusten, vilket är negativt då växtklädda bottenar är mycket artrika och produktiva havsmiljöer. På havsbotten styr ljusstillgången i hög grad förekomsten av vegetation men även näringstillgång och vågexponering är fundamentalt. Den aktuella delen av kusten högexponerad med kraftiga vågor och strömmar och i det fall det saknas skydd mot detta får inte undervattensvegetationen något fäste när vågornas orbitalrörelser och brytning påverkar botten. Makroalger saknar rötter och fäster in på hårda material med både organiska limmer och cement.

På havsbotten styr ljusstillgången i hög grad förekomsten av vegetation men även näringstillgång och vågexponering är fundamentalt. Hårdbottenarter som blåmusslor och fleråriga makroalger påverkas främst av förlust och tillkomst av substrat. Det vill säga förändringar av bottenkaraktär med exempelvis tillkomst av hårda material på en sandbotten. Att anlägga naturbaserade vågbrytare av större stenblock kommer att utgöra

ett mycket bra substrat för etablering av både musslor och makroalger. På sandbottnar innebär tillkomst av stenblock nytt substrat för främst blåmusslor men även makroalger gynnas av tillkomsten av hårda stabila substrat i området. Enligt den marina inventering som gjorts av Länsstyrelsen i Skåne län⁶ är förutsättningen för förekomst av bland annat blåstång låg inom aktuellt område vilket troligtvis beror på den begränsade förekomsten av lämpliga substrat. Förutsättningen för förekomst av rödalgen ekblading är god ett stycke ut från stranden men ekblading kräver ett djup på mellan 0,5—25 m djup. Avsaknaden av goda förutsättningar för fler arter av makroalger beror troligtvis på avsaknaden av rätt typ av hårda substrat som krävs för att dessa alger skall få fäste.

Vågkrafter är ofta svagare i sprickor vilket gynnar överlevnaden av både fastsittande djur, fleråriga stora alger och betare. Därav vill man att reven skall innehålla mindre håligheter mellan blocken som ger plats för fler arter. Lutning på vågbrytaren har stor betydelse för vilket samhällen som kommer att etableras. Eftersom vågornas kraft är större på en vertikal yta jämfört med en horisontal yta leder den sluttande ytan på vågbrytaren till att organismer kan etableras högre upp på vågbrytaren än om den hade varit vertikal. Vertikala ytor är oftast djurdominerade medan alger förhärskar på horisontella ytor. På stenrev är störningsfrekvensen stor då blocken välts och snurrar runt under pågående stormar. Detta påverkar framförallt stora och fleråriga organismer negativt. Den biologiska mångfalden är störst på medelstora block medan det på små block bara hinner etableras kortlivade arter mellan störningstillfällena. Störningsfrekvensen på de största blocken är låg och samhällena där liknar den fasta klippan som domineras av konkurrenskraftiga, fleråriga arter.

Klippans mineralsammansättning verkar ha liten betydelse för etableringen av alger och djur i marin miljö.

Då föreslagna rev har som huvudsakligt syfte att reducera vågöverspolningen längs strandpromenaden har placeringen av revet baserats på förväntad effekt av vågdämpning. I det fall man hade önskat utforma ett erosionsskydd med de bästa förutsättningarna för en etablering av hårbottenlevande djur och växter hade en förstudie som omfattar undersökning av befintliga arter på hårda bottnar i närområdet varit fördelaktig. En viktig förutsättning för att kunna utforma ett platsspecifikt optimalt rev är att kartlägga vilka marina miljöer som har ett särskilt behov av att främjas. Utifrån dessa förutsättningar hade man sedan kunnat utforma revet med hänsyn till blockstorlek, behov av hålrum, ytmaterial, djup och lutning med mera.

Utbredningen av arter och antal plantor kommer troligtvis att skifta mellan in- och utsida då vågexponeringen kommer att bli olika. De nya reven har en tydligt exponerad ytersida men en större yta över vilken vågenen är lägre.

⁶ Marin inventering och modellering i Skåne län, Länsstyrelsen i Skåne län, Dr.nr. 511-2835-2012.

5.1.4 Eventuella nedströmseffekter

Till följd av den flacka kustlinjeslätten av kusten utanför studieområdet är surfzonen (inom vilken vågor bryter och den huvudsakliga sedimenttransporten sker) relativt bred. Båda de föreslagna utformningarna ligger väl innanför surfzonen vilket tillgodoser en fortsatt transport av sediment österut.

Till följd av hamnens yttre pirarm är sedimenttransporten vidare mot Malen mycket begränsad. Viss transport av sediment sker dock sannolikt i samband med extremväder, vilket medför att inseglingsrännan till hamnen långsamt sandar igen. Modellresultaten visar att reven inte påverkar våghöjden vid Skansenstranden och således inte heller möjligheten för sediment att transporteras vidare förbi hamnen mot Malen.

5.2 Åhus

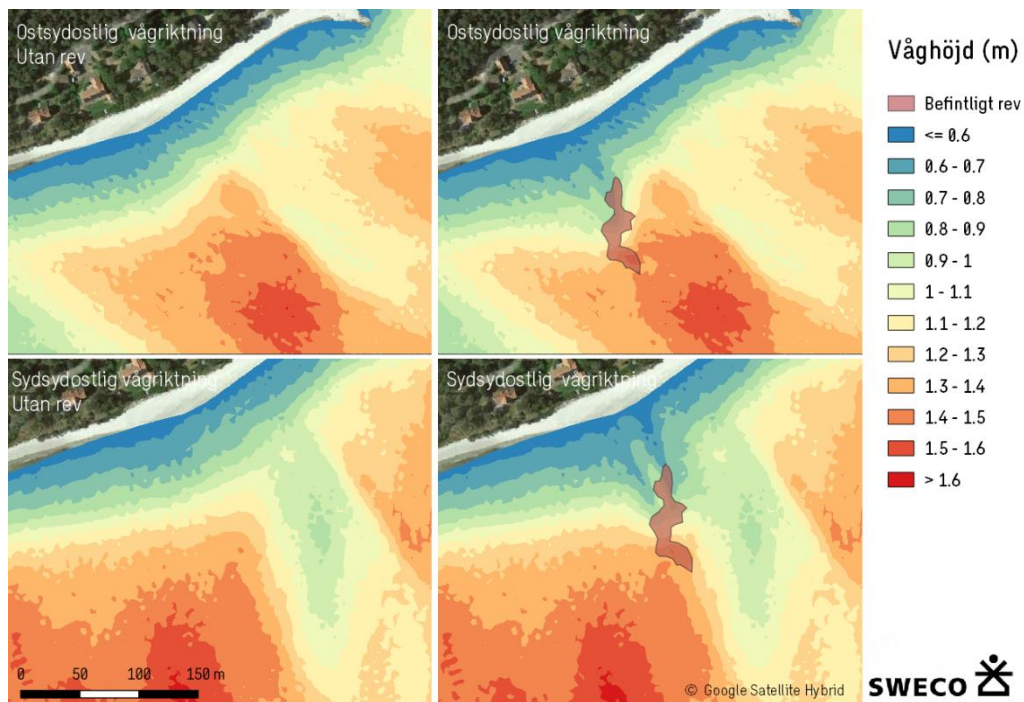
För aktuellt studieområde har tre olika beräkningsnät tagits fram:

1. Nuläge (enligt SGU:s inmätning 2013) med kompletterande djupdata från inventering 2019.
2. Nuläge med avsaknad av dagens rev. Kustlinjens lutning är istället ansatt likt närliggande strand. Detta alternativ har tagits fram för att utvärdera det befintliga revets funktion.
3. Nuläge (enligt SGU:s inmätning 2013) med nytt rev söder om det befintliga.

5.2.1 Befintligt revs funktion

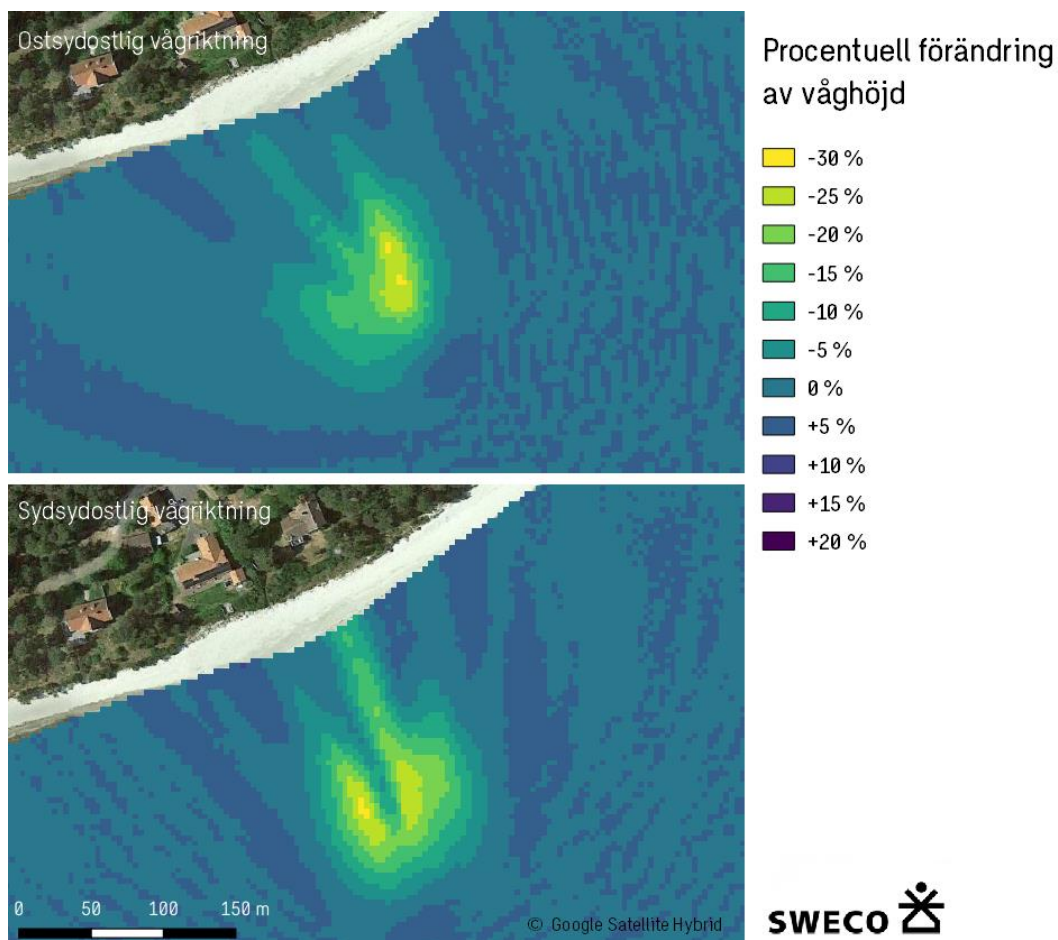
Med föresatsen om att det befintliga revet söder om Snickarehaken medför en ökad ackumulation av sediment på stranden har dess vågdämpande egenskaper utvärderats. I Figur 5-6 presenteras resultat för simuleringar utförda med alternativ 1 (nuläge, med rev) och 2 (nuläge, utan rev).

Resultaten antyder att det befintliga revet har relativt liten men signifikant reduktion av de infallande vågorna. Vågreduktionen är särskilt uttalad vid vågor med sydlig infallsvinkel, men även tydlig vid östliga riktningar.



Figur 5-6 Jämförelse av kustnära vågklimat med och utan befintligt rev. I modelleringen har kustlinjeslänten vid befintligt rev ansatts till liknande lutning som närliggande strand.

Vågreduktionen till följd av revet presenteras som en procentuell förändring i Figur 5-7. Av figuren framgår att revet har goda vågdämpningsegenskaper, men även att små men lokala förstärkningar av våghöjden (+5%) går att skönja på strandplanet vid revets flanker.

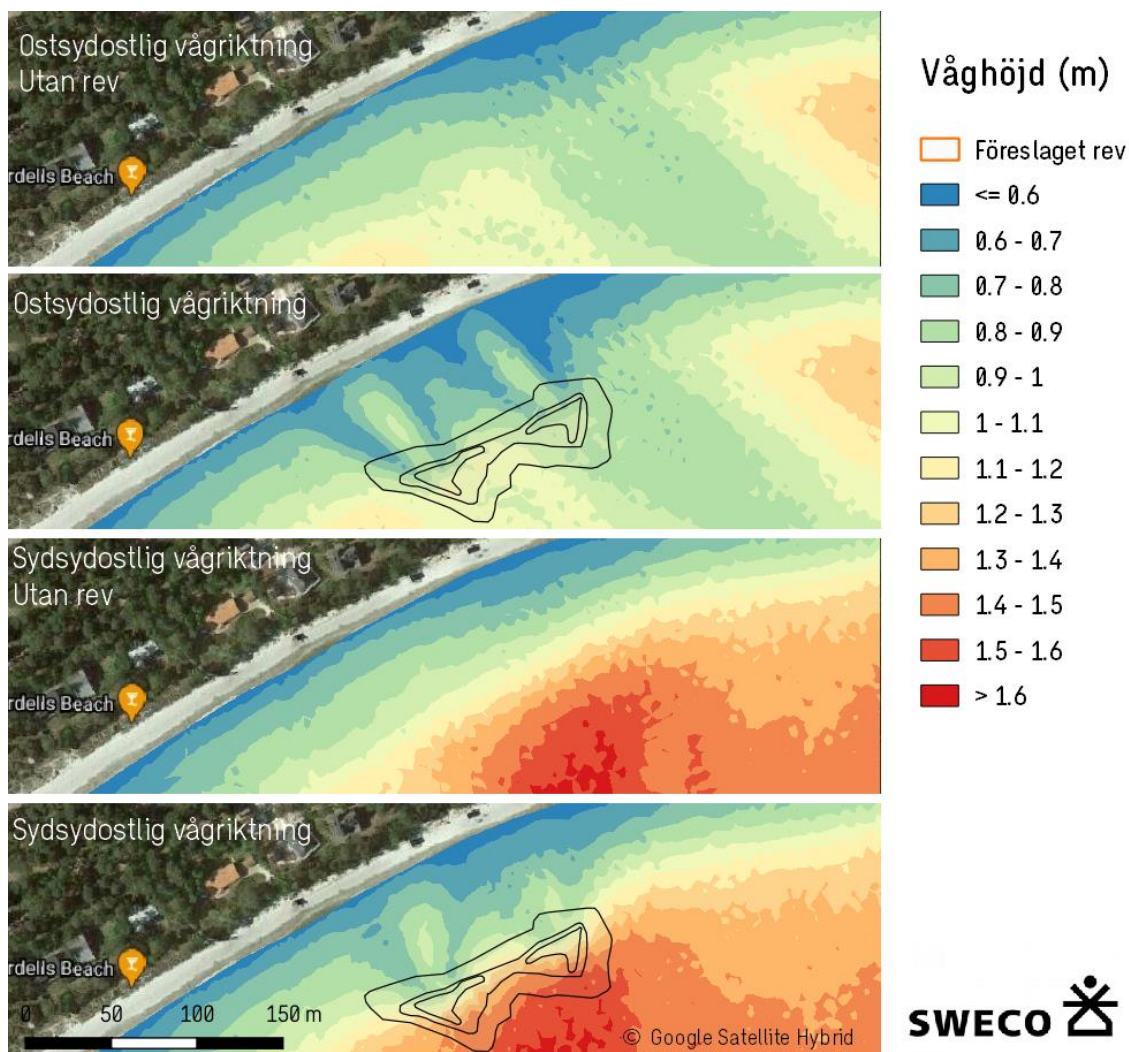


Figur 5-7 Reduktion av våghöjd över befintligt rev.

5.2.2 Föreslaget rev

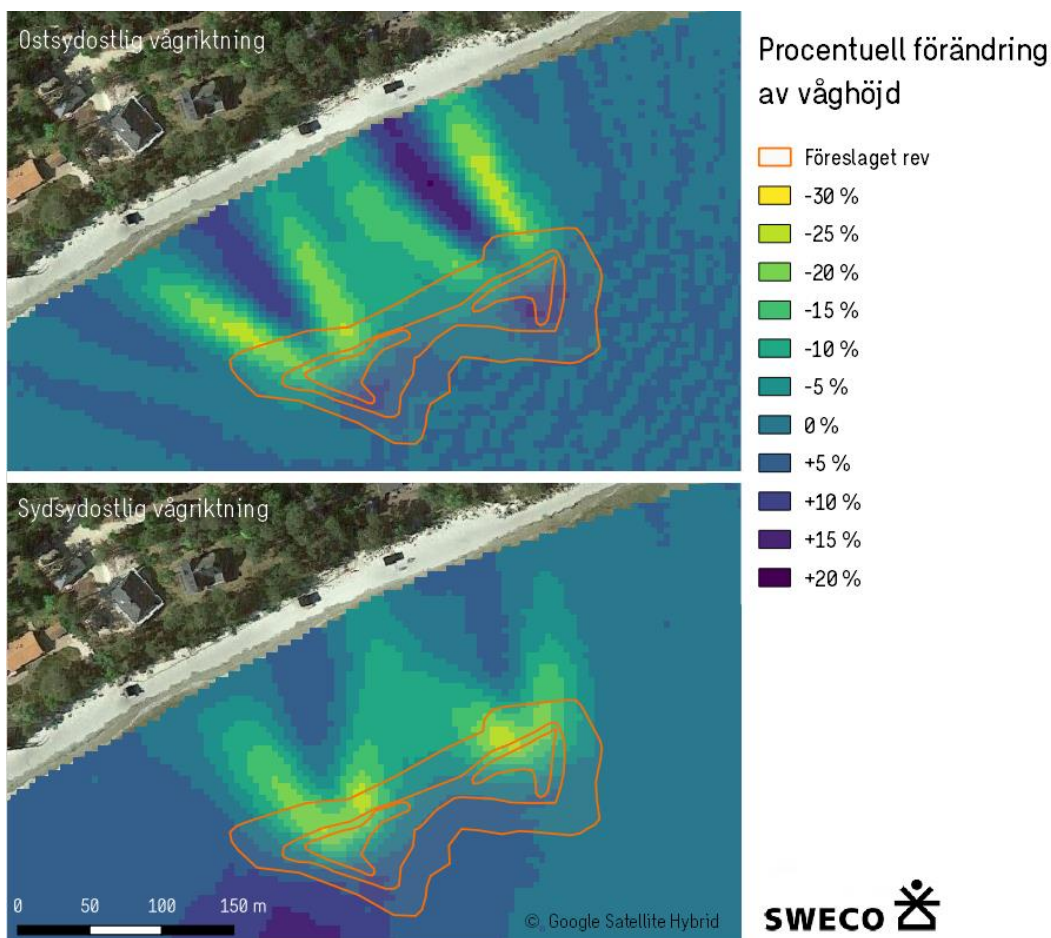
Modelleringen av föreslaget rev presenteras i Figur 5-8 och visar generellt en god dämpning av vågor i lä av skyddet. Revet ger upphov till en våghöjdsreduktion för infallande vågor från båda modellerade riktningar och vågdämpningen sker över ett betydligt större område än vad befintligt rev åstadkommer. Resultaten antyder samtidigt att tydligt accentuerade områden med förhöjd våghöjd återfinns i lä om revet.

Vid sydliga vågriktningar når högre våghöjder revet. Grundområdet i nordöst tycks ge upphov till en betydande vågdämpning för dessa riktningar. De största krafterna på revet uppstår således sannolikt vid sydliga stormar.



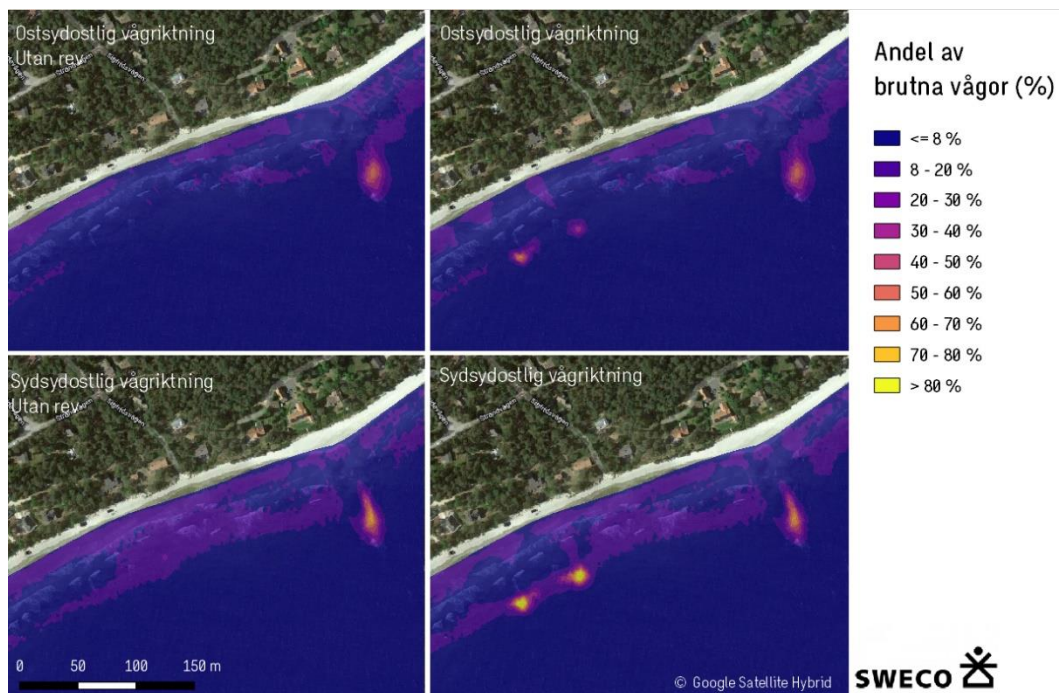
Figur 5-8 Vågmodellering av föreslaget rev.

I Figur 5-9 presenteras vågdämpningen som en procentuell förändring av våghöjden relativt nuläget. I figuren kan det utläsas att våghöjderna generellt har en god reduktion men att reven i sin nuvarande utformning potentiellt skulle kunna ge lokala förhöjningar på uppemot 20 % i lä av konstruktionen. Utifrån resultaten kan det även utläsas att de två högre segmenten av revet har en samverkans effekt och att avståndet mellan dem är tillräckligt litet för att i sig ge en vågdämpande effekt. I samma figur syns även det vid vågor från syd föreligger en risk för förhöjda vågor sydväst om revet (omkring 5 %), vilket får anses varje i linje med förväntan till följd av revets vågreflektion.



Figur 5-9 Reduktion av våghöjd över föreslaget rev.

I Figur 5-10 visas modellresultat avseende var vågorna bryter. Det framgår av figuren att dagens rev bryter en stor del av de vågor som rör sig in mot kusten under de simulerade förhållandena. Det tilltänkta revet har även det en god förmåga att bryta vågor, vilket ger upphov till att färre vågor bryter närmast kusten bakom skyddet.



Figur 5-10 Andel av brutna vågor (%) längs aktuell kuststräcka. Ur figuren framgår det att både dagens och föreslaget rev i stor utsträckning bryter vågor från båda undersökta vågriktningar.

Revet skyddande effekt är primärt genom energiförluster till följd av brytning över revet, men över tid finns goda möjligheter för att en lärevel utvecklas, vilket utgör en skyddande sedimentbuffert under stormtillfällen.

5.2.3 Eventuella nedströmseffekter

Sedimenttransporten längs kusten styrs av riktningen på de infallande vågorna i förhållande till strandens orientering. Generellt kan det konstateras att transporten är riktad söderut vid vågor från sydost – nordost och norrut vid vågor från syd – sydost. DHI visar i sin utredning att nettotransport av sediment är liten och riktad söderut under den studerade tidsperioden (2006–2016). Bruttotransporten av sediment längs stranden är därmed relativt likt fördelad mellan nordöstlig- och sydvästlig riktning.

Under perioder med sydlig nettotransport av sediment tycks de sydvästliga delarna av stranden växa till och dynlandskapet flytta sig närmare havet. Genom sina sandfångande egenskaper kan föreslaget rev således komma att minska denna ackumulationstakt. Med tanke på revets begränsade storlek är det dock osannolikt att ett skifte mot erosion skulle inträffa i det sydvästliga området till följd av revet uppförande. På motsvarande sätt minskar tillskottet av sand i strandens norra delar under perioder med nordlig sedimenttransport. De största riskerna kopplade till ett rev är således det strandparti på cirka 100 meter som ligger mellan föreslaget och befintligt rev (delvis inom Natura2000), där strandplanet redan idag är smalt.

Det ska också poängteras att även om våghöjderna norr och söder om revet endast förväntas bli marginellt förhöjda (till följd av reflektion) föreligger det en risk för flankerosion.

5.2.4 Marinbiologiska effekter

På havsbotten styr ljusstillgången i hög grad förekomsten av vegetation men även näringstillgång och vågexponering är fundamentalt. Basen i ekosystemen i Östersjön utgörs av blåstången med sina fleråriga algsamhällen. Dock är den aktuella delen av kusten högexponerad med kraftiga vågor och strömmar och i det fall det saknas skydd mot detta får inte undervattensvegetationen något fäste när vågorna slår mot stranden i full kraft. Makroalger saknar rötter och fäster in på hårda material med både organiska limmer och cement.

Hårdbottenarter som blåmusslor och fleråriga makroalger påverkas främst av förlust och tillkomst av substrat. Det vill säga förändringar av bottenkaraktär med exempelvis tillkomst av hårda material på en sandbotten. Att anlägga rev av större stenblock kommer att utgöra ett mycket bra substrat för etablering av både musslor och makroalger. På sandbotten innebär tillkomst av stenblock nytt substrat för främst blåmusslor men även makroalger gynnas av tillkomsten av hårda stabila substrat i området. Enligt den naturvärdesbedömning som gjorts av Länsstyrelsen i Blekinge län⁷ är förutsättningen för förekomst av bland annat sågtång mycket god inom aktuellt område men även för andra makroalger som kräkel och rödblåd.

Då föreslagna rev har som huvudsakligt syfte att reducera stormerosion har placeringen av dessa i förhållande till stranden, fått baseras på kusttekniska resonemang. Valet av utformning av rev samt material har sedan gjorts delvis utifrån resultat från genomförd inventering gjord 2019. Men även andra faktorer och förutsättningar har beaktats.

Vågkrafter är ofta svagare i sprickor vilket gynnar överlevnaden av både fastsittande djur, fleråriga stora alger och betare. Därav vill man att reven skall innehålla mindre håligheter mellan blocken som ger plats för fler arter. Lutning på vågbrytaren har stor betydelse för vilket samhällen som kommer att etableras. Eftersom vågornas kraft är större på en vertikal yta jämfört med en horisontell yta leder den sluttande ytan på vågbrytaren till att organismer kan etableras högre upp på vågbrytaren än om den hade varit vertikal. Vertikala ytor är oftast djurdominerade medan alger förhärskar på horisontella ytor. På stenrev är störningsfrekvensen stor då blocken välts och snurrar runt under pågående stormar. Detta påverkar framförallt stora och fleråriga organismer negativt. Den biologiska mångfalden är störst på medelstora block medans det på små block bara hinner etableras kortlivade arter mellan störningstillfällena. Störningsfrekvensen på de största blocken är låg och samhällena där liknar den fasta klippan som domineras av konkurrenskraftiga, fleråriga arter.

⁷ Naturvärdesbedömning och scenarier för havsplanering i Blekinge och Skåne län, Länsstyrelsen i Blekinge län, 2015:07.

Klippans mineralsammansättning verkar ha liten betydelse för etableringen av alger och djur i marin miljö.

Troligtvis kommer makroalger av liknande sammansättning som på det befintliga revet att etablera sig på det nya revet. Utbredningen av arter och antal plantor kommer att skifta mellan in- och utsida på motsvarande sätt. De nya reven kommer dock att ha en större exponerad utsida med höga energier och en större insida men mindre exponering och lägre energier om än med viss turbulens, jämfört med befintligt rev.

5.2.5 Påverkan på Natura 2000

Föreslaget rev bedöms ha en mycket låg påverkan på bevarandemålet för Natura 2000-området. I områdets allra sydligaste delar kan förutsättningarna för embryonala sanddyner (2110) komma att påverkas negativt. Förutsättningarna för bildandet av denna naturtyp förväntas däremot tydligt förbättras i revets närhet, drygt 100 meter söder om områdesgränsen.

I *Appendix A* diskuteras revets potentiella påverkan på bevarandemålen för Natura 2000 området i detalj. För varje naturtyp och tillhörande strukturer och funktioner presenteras bedömningen av påverkan från revet.

6 Slutsatser

6.1 Båstad

Resultaten visar att reven med sin föreslagna utformning inte har en betydande effekt för att minska överspolningen längs berört område vid vattenstånd på +1,5 meter (RH2000). För att risken för erosionsskador längs strandpromenaden ska reduceras märkbart krävs därmed en betydligt högre krönhöjd än +0,08 meter (RH2000). Revet kan dock sannolikt ha en sekundär effekt i att öka ackumulationstakten av sediment i lå av skyddet, men även strandlinjesvaret hade sannolikt varit större med en ökad krönhöjd.

Ett artificiellt stenrev utanför strandpromenaden i Båstad ger en liten, men ej tillräcklig reduktion av överspolningen och erosionsskadorna längs berörd strandpromenad. Det föreligger även en risk att våghöjden lokalt kan komma att öka bakom föreslaget rev jämfört med idag. Vågdämpningen blir lägre ju högre vattenståndet är. För att minska risker kopplade till stormerosion krävs därmed åtgärder på land vid befintlig skoning. Dagens skoning behöver sannolikt ha en högre krönhöjd och/eller en utökad krönbredd för att tillgodose ett effektivt skydd.

Båda föreslagna alternativ bidrar dock sannolikt till att öka ackumulationstakten av sediment i lå av skyddet, vilket i sin tur kan bidra till att reducera våghöjden.

6.2 Åhus

Det befintliga revet uppvisar en tydligt vågbrytande effekt även under stormförhållanden, och det är med största sannolikhet till följd av detta rev som strandplanet tidvis är bredare

i lä om detsamma. Det går dock inte att utesluta att grundområdet i de norra delarna av bukten också är en bidragande faktor bakom kustlinjens form.

Det i Åhus föreslagna revet medför generellt en god dämpning av vågor för vågor både med sydlig och östlig riktning. I gapet mellan revens två segment sker dämpas vågorna med uppemot 20%, och föreslaget avstånd mellan revens två segment är enligt resultat från modellering väl valt i relation till segmentens längd. Revet medför att vågor bryts på ett längre avstånd från strandlinjen.

Våghöjderna på strandplanet kring revets flanker (upp- och nedströms revet) förväntas endast öka marginellt (uppemot 5%). De största riskerna för förhöjd flankerosion kan förväntas uppstå i området söder om föreslaget rev, då reflektion av sydliga vågor mot revet tycks ge ökade våghöjder i ett större område än i norr.

Trots att vattendjupet över föreslaget rev är måttligt även vid kraftiga högvatten så tycks transmissionen över revet, i kombination med diffrakterade vågor, ge upphov till lokalt förhöjda vågor i lä om revet. Modelleringen visar att dessa vågor kan vara uppemot 10–20 % högre än i dagsläget, vilket potentiellt kan ge upphov till lokal erosion av både kustlinjeslänt och strand.

Till följd av föreslaget revs vågdämpande egenskaper i kombination med en hög bruttotransport längs aktuellt strandparti kan förutsättningarna för en ökad ackumulation av sediment och bildandet av en lärevel vara goda. Denna ökade ackumulation kan i sig själv bidra till att minska risken för ökade våghöjder och erosion i lä av konstruktionen. Utförd modellering beaktar inte förändringar av bottenpogografen över tid, och denna effekt kan därmed inte studeras utifrån resultat i denna studie.

7 Förslag på fortsättningsstudier

Konstgjorda rev som placeras relativt nära kusten kan orsaka erosion istället för ackumulation av sediment på grund av samverkans effekter mellan transmitterade och diffrakterade vågor. Inför uppförande av ett rev behöver de förstärkningsmönster som noterats i denna studie utredas i detalj så att konstruktionernas design kan optimeras för att reducera risk för erosion i lä. Detta gäller både för rev på båda lokaler. Denna studie utgår från ett antal scenarier av vågor och vattenstånd och innan slutlig design av rev bör studien utökas till att innefatta ett bredare spann av scenarier.

Alla typer av konstruktioner som syftar till att öka ackumulationen av sediment längs ett kustavsnitt har nedströmseffekter vilket ofta ger sig uttryck i erosion. Ju större ackumulation man avser att skapa, desto kraftigare kan nedströmserosionen potentiellt bli. För att öka kunskapen kring strandens långsiktiga utveckling till följd av revens implementation föreslås att en kustlinjesvarsmodell upprättas (exempelvis i programvaran GENESIS⁸ eller LITPACK⁹).

⁸ **GENE**ralized model for **SI**mulating **Sh**oreline Change, US Army Corps of Engineers

⁹ LITPACK, Littoral processes FM, DHI

De returströmmar och strömvirvlar som ofta uppmärksammas kring friliggande vågbrytare kan även förväntas uppträda kring konstgjorda rev. Farliga strömmar kan förstärkas av kraftig överspolning och hög masstransport av vatten över revet. Reven avses dock utformas för hög genomsläpplighet, vilket minskar risken för mycket kraftiga ripströmmar. Den låga krönhöjden ger samtidigt möjlighet för vatten att röra sig åter mot havet över konstruktionen. Badsäkerhetsaspekten kan med fördel belysas ytterligare, förslagsvis genom ett inledande erfarenhetsutbyte från liknande projekt i Östersjön och Kattegat.

8 Referenser

- Ahrens, J. ., & Cox, J. (1990). Design and performance of reef breakwaters. *Journal of Coastal Research*.
- DHI. (2018). *Erosionsutredning Kristianstad Kristianstads kommun*.
- EurOtop. (2018). *Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An manual largely based on European research, but for worldwide application*. (Vol. 2). https://doi.org/10.5034/inquiryjrnI_46.02.140
- 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
- Na'im, I. I., Shahrizal, A. R. M., & Safari, M. D. (2018). A Short Review of Submerged Breakwaters. *MATEC Web of Conferences*, 203, 1–17. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820301005>
- Persson, K. M., Nyberg, J., Ising, J., & Rodhe, L. (2016). *Skånes känsliga stränder – erosionsförhållanden och geologi för samhällsplanering*. 2016:17.
- Ranasinghe, R., & Turner, I. L. (2006). Shoreline response to submerged structures: A review. *Costal Engineering*, 53(1), 65–79.
- Reinodt, E., & Österlund, G. (2020). *Problematiska vågförhållanden i Kiviks hamn*. Lund Faculty of Engineering, LTH.
- Schmidt, E. (2016). *Nearshore Currents in Southeastern Scania* (Lunds Tekniska Högskola). Retrieved from www.tvrl.lth.se
- SMHI. (2020). *HAVSVATTENSTÅND 2020 - Beräknat medelvattenstånd för 2020 i olika höjdsystem*.
- Sweco. (2019). *Strategi för klimatanpassning av Båstads och Torekovs hamn, Bilaga 1 – beräkningar högvatten*. 1–7.
- US Army Corps of Engineers. (2002). *Coastal Engineering Manual*.

Appendix A – Påverkan på Natura 2000 i Åhus

I följande avsnitt diskuteras revets potentiella påverkan på bevarandemålen för Natura 2000 området. För varje naturtyp och tillhörande strukturer och funktioner presenteras bedömningen av påverkan från revet.

Bevarandesyftet och bevarandemålen för Natura 2000 är att upprätthålla gynnsam bevarandestatus inom den biogeografiska regionen avseende följande:

| Naturtyp | Syfte/mål | Bedömning av påverkan av rev |
|--|--|---|
| Naturtypen ler- och sandbottnar (1140) som blottas vid lågvatten | Skall utgöra en areal på minst 14 ha men kan tillåtas variera på grund av naturliga förlopp och gå över till sublitorala sandbankar. | Bedöms ej påverkas då området består av sorterad sand och de områden som avser naturtyp 1140, ej påträffas in om påverkansområdet. |
| Naturtypen laguner (1150) | Skall utgöra en areal på minst 9 ha. | Bedöms ej påverkas då området består av sorterad sand och de områden som avser naturtyp 1150, ej påträffas in om påverkansområdet. |
| Naturtypen embryonala sanddyner (2110) | Skall förekomma längs hela kustremsan i anslutning till naturtypen vandrande sanddyner med sandrör (vita dyner). | I Natura 2000-området sydligaste delar kan förutsättningarna för embryonala sanddyner potentiellt att minska till följd av revet. På stranden innanför revet förväntas dock förutsättningarna öka avsevärt. |
| Naturtypen vandrande sanddyner med sandrör (vita dyner) (2120) | Skall utgöra en areal på minst (uppgift saknas). | Revet syftar till att tillskapa grundområden som blottas vid lågvatten, vilket förbättrar förutsättningarna för naturtypen. |
| Naturtypen ånnuell vegetation på driftvallar (1210) | Skall förekomma längs kusten inom fågelskyddsområdet (en sträcka på 1 km). | Fågelskyddsområdet ligger norr om Snickarehaken och bedöms inte påverkas av revet. |

För gynnsam bevarandestatus av embryonala sanddyner (2110) och vandrande sanddyner med sandrör (vita dyner) (2120) gäller bland annat:

| Strukturer och funktioner | Bedömning av påverkan av rev |
|---------------------------|---|
| Variert salthalt | Anläggning av rev kommer inte att påverka salthalten i området. |

| | |
|--|--|
| Naturligt vattenflöde | Anläggning av rev kommer att påverka strömningsmönstren i revets direkta närhet. Den kustparallella strömmen kommer sannolikt minska i hastighet bakom revet, och cirkulationsströmmar uppstå kring det. Revet bedöms dock inte påverka strömningen i Natura 2000-området. |
| Ständigt pågående deltabildning | Utlopp saknas inom aktuellt påverkansområde. |
| Artrik vegetation | Anläggningen bedöms inte påverka vegetationen på land. I vattenmiljön förväntas en positiv påverkan på artrikedomen att ske. |
| Grunda bottnar som blottas vid lågvatten | Anläggningen kommer att bidra till tillskapning av grunda sandbottnar/rev (utanför reservatet) som eventuellt kan komma att blottas vid lågvatten. |

För att naturtypen laguner (1150) skall anses ha gynnsam bevarandestatus gäller bland annat:

| Strukturer och funktioner | Bedömning av påverkan av rev |
|-------------------------------------|---|
| God vattenkvalitet | Anläggning av rev kommer inte att påverka områden med laguner på grund av det långa avståndet. |
| Varierande vattenmängd och salthalt | Anläggning av rev kommer inte att påverka områden med laguner då vattenmängd och salthalt inte påverkas av revet. |
| Naturlig långsam vattenomsättning | Anläggning av rev kommer inte att påverka områden med laguner då vattenomsättningen inte påverkas av revet. |

För att naturtypen annuell vegetation på driftvallar (1210) ska anses ha gynnsam bevarandestatus krävs bland annat:

| Strukturer och funktioner | Bedömning av påverkan av rev |
|--|---|
| Stränder där tång får ligga kvar och ansamlas under längre tid för att skapa förutsättningar för växter och insekter att etablera sig på driftvallarna | Anläggning av rev kommer inte att påverka områden med annuell vegetation. |

För att naturtypen embryonala sanddyner (2110) ska anses ha gynnsam bevarandestatus krävs bland annat följande:

| Strukturer och funktioner | Bedömning av påverkan av rev |
|---------------------------|------------------------------|
|---------------------------|------------------------------|

| | |
|--|---|
| Naturlig abrasion och ackumulation, det vill säga att naturlig bildning får ske. | Den naturliga abrasionen förväntas oförändrad inom Natura 2000-området. Ökad erosion i revets flanker kan dock leda till en minskad ackumulation i en mycket begränsad del av de sydligaste delarna. I just denna del bedöms dock bildandet av embryonala sanddyner vara låg redan idag till följd av att hårda erosionskydd finns i dynlandskapet. Sandstaket har i delar av området satts upp. I revets närhet (utanför Natura 2000-området) bedöms förutsättningarna för bildning öka. |
|--|---|

För att naturtypen vandrande sanddyner med sandrör (vita dyner) (2120) ska anses ha gynnsam bevarandestatus krävs bland annat följande:

| Strukturer och funktioner | Bedömning av påverkan av rev |
|--|---|
| Naturlig abrasion och ackumulation, det vill säga att naturlig bildning får ske. | Den naturliga abrasionen förväntas oförändrad inom Natura 2000-området, men ökad erosion i revets flanker kan leda till minskad ackumulation i en mycket begränsad del av de sydligaste delarna av N2000-området. I just denna del bedöms dock bildandet av embryonala sanddyner vara låg redan idag till följd av att hårda erosionskydd finns i dynlandskapet. Sandstaket har i delar av området satts upp. |
| Förekomst av sandbindande vegetation | Anläggning av rev bedöms inte påverka förekomsten av sandbindande vegetation. |
| Måttligt slitage som upprätthåller ett visst inslag av blottad sand | Anläggande av rev har som syfte att förhindra slitage av sanddyner och öka bredden på strandremsan. Här bedöms en påverkan på strukturer och funktioner uppkomma. |