

Stranderosion Smygehamn

Åtgärdsvalsstudie för kustskyddsstrategi vid
Smygehamn tätort i Trelleborgs kommun



Ändringsförteckning

Ver:	Datum:	Ändringsbeskrivning	Granskad	Godkänt av
1	2022-06-28	Rapportutkast	SEESCH	
2	2023-09-06	Slutversion	EXTERN	SEESCH

Uppdrag: Erosionsskydd Smygehamn
Uppdragsnummer: 30031540
Kund: Trelleborgs kommun
Datum: 2023-09-06
Upprättad av: Emanuel Schmidt
Dokumentreferens: p:\21215\30031540_erosionsskydd_smygehamn
n\000\19 original\sweco 2022-06-29 -
kusterosion smygehamn -
granskningsexemplar.docx

Innehållsförteckning

1.	Inledning och syfte.....	6
1.1	Avgränsningar	6
1.1.1	Klimatscenario och tidshorisont	6
1.1.2	Skadekostnader	7
1.2	Tidigare utredningar	7
2.	Metod och genomförande	8
2.1	Kusthydrauliska studier	8
2.2	Boendedialog.....	8
2.3	Framtagande av åtgärdsförslag	8
2.4	Kostnadsnyttoanalys	9
3.	Erosion & erosionskydd.....	11
3.1	Kustmorfologi och erosion.....	11
3.1.1	Kustparallell transport.....	12
3.1.2	Kustvinkelrät transport.....	12
3.1.3	Klimatförändringarnas betydelse för stranderosion	13
3.2	Erosionskydd	13
3.2.1	Strandfodring.....	14
3.2.2	Hövder	15
3.2.3	Friliggande vågbrytare / artificiella rev	16
3.2.4	Strandskoning	18
4.	Smygehamns kust.....	20
4.1	Kustens karaktär.....	20
4.2	Maringeologi och sedimentdynamik	22
5.	Åtgärdsförslag	25
5.1	Målbild	25
5.2	Alternativ A - Strand- och dynfodring	26
5.2.1	Utformning i plan och sektion	26
5.2.2	Kostnadsuppskattning	27
5.2.3	För- och nackdelar	28
5.2.4	Scenario för KNA.....	29
5.3	Alternativ B - Släntskydd i sten.....	29
5.3.1	Utformning i plan och sektion	29
5.3.2	Kostnadsuppskattning	30
5.3.3	För- och nackdelar	31
5.3.4	Scenario för KNA.....	31

6.	Kostnad- och nyttoanalys	32
6.1	Samhällsekonomisk skadekostnad	32
6.2	Åtgärdernas nyttor	33
6.3	Åtgärdskostnader	33
6.4	Beräkning av samhällsekonomisk lönsamhet	34
6.5	Fördjupad analys	34
7.	Diskussion	36
7.1	Erosion och Bruuns lag	36
7.2	Kostnads- nyttoanalys	36
7.3	Multikriterieanalys	37
7.4	Bortom 2070	38
8.	Slutsats och rekommendationer	39
9.	Referenser	40

Förord och läsanvisningar

Smygehamn, Sveriges sydligaste tätort, har under lång tid uppmärksammats för den akuta erosion som varje vinter utgör ett ständigt hot för den kustnära bebyggelsen. Under det senaste seklet har strandens karaktär förändrats, sanden har förflyttats österut och området har blivit stenigare.

Denna studie har syftat till att utreda de kusttekniska förutsättningarna i Smygehamn för att därefter ta fram förslag till åtgärder för att minska riskerna kopplade till stranderosion i tätorten. Arbetet har mynnat i två huvudspår, vilket utgörs av två konventionella kustskyddsmetoder; strandfodring samt strandskoning.

Som ett underlag till beslutsfattande har dessutom en kostnadsnyttoanalys utförts. Denna analys syftar till att beskriva den samhällsekonomiska lönsamheten med åtgärderna och även att rangordna de olika åtgärderna utifrån ett ekonomisk måttstock.

Denna rapport utgör huvudrapport och ska läsas tillsammans med följande bilagor:

Bilaga A – Fördjupad kustteknisk utredning

Bilaga B – Teoretisk bakgrund, kostnads- nyttoanalys

Bilaga C – Sammanställning av boendedialog.

1. Inledning och syfte

I Swecos rapport *Stranderosion i Trelleborgs kommun* pekas Smygehamn ut som det område i kommunen som är starkast hotat av erosion och utredningen föreslår därmed att åtgärder för att minska erosionsrisken vidtas. (Sweco, 2012) Sedan utredningen genomfördes har erosionen fortgått och VA-ledningar som exponerats under stormar har flyttats för att inte riskera att skadas.

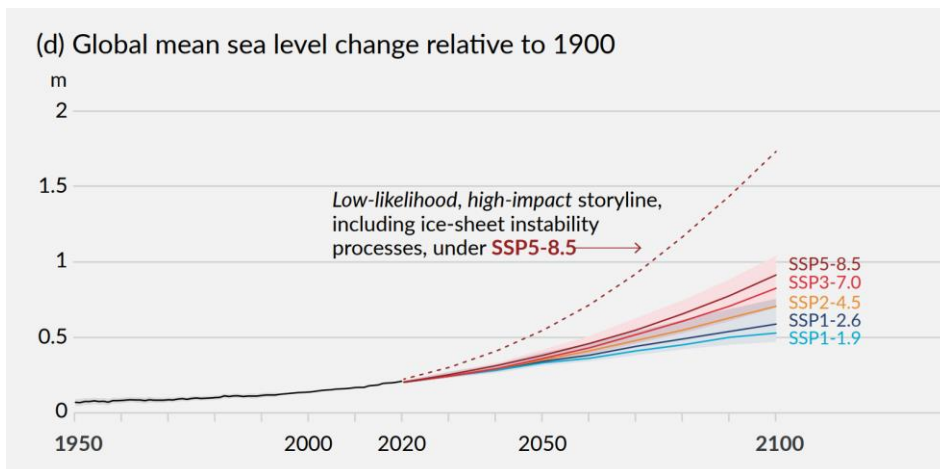
De fastigheter som ligger närmast havet är idag kraftigt hotade av akut erosion, och flera meter slänt har gått förlorade under 2010-talets många kraftiga stormar. Baserat på uppgifter från boende i området har även en viss förändring av strandens karaktär skett, både ovan och under vattenytan har sand försvunnit till förmån för sten och grus (se bilaga C).

Precis som tidigare studier visar denna utredning att det föreligger en risk att kustnära bebyggelse skadas till följd av erosion om inga åtgärder vidtas. Klimatförändringar och stigande havsnivåer förväntas accelerera erosionstakten i området. Denna utredning syftar till att från grunden utreda vilka riskreducerande åtgärder som kan vara lämpliga ur ett tekniskt och ekonomiskt perspektiv. Utredningen baseras på en grundlig sammanställning av tidigare studier och genom ytterligare kusttekniska beräkningar. Vidare syftar utredningen till att skapa en förståelse för platsens förutsättningar och i ett tidigt skede inkludera kunskap och erfarenhet från boende och andra sakägare.

1.1 Avgränsningar

1.1.1 Klimatscenario och tidshorisont

Den globala medelvattenytan stiger och kommer fortsätta att stiga under en överskådlig framtid. Fram till cirka år 2070 är skillnaden mellan olika havsnivåmodeller relativt små, och de pekar alla på en snarlik höjning av medelvattenytan (se Figur 1-1). På längre tidshorisonter förstärks de olika modellernas osäkerheter, och betydelsen av exempelvis det framtida fossilberoendet och klimatpolitik får stor inverkan (IPCC, 2021). Dessa osäkerheter får stort genomslag vid beräkning av framtida erosionstakt och denna utredning har således avgränsats till en tidshorisont på cirka 50 år, alltså fram till 2070.



Figur 1-1 Prognosticerad utveckling av den globala medelvattenytans läge i förhållande till senare hälften av 1900-talet. (IPCC, 2021)

1.1.2 Skadekostnader

Samhällsekonomiska konsekvenser har i denna studie inte inkluderat indirekta kostnader. Som exempel kan indirekta kostnader uppstå till följd av minskad turism, minskade rekreativmöjligheter eller kostnader för skador på industri eller energiproduktion som innebär utebliven produktion.

Skadekostnader till följd av erosion har i den samhällsekonomiska kalkylen endast beräknats utifrån försäljningspris av havsnära bostäder i Smygehamn mellan 2015-2022, samt genom taxeringsvärden för fastigheter på kommunnivå. Ingen hänsyn har tagits till bostädernas storlek och därigenom dess kvadratmeterpris. Inte heller har kostnader vad gäller förlorade naturvärden eller liknande inkluderats.

1.2 Tidigare utredningar

Kusten kring Smygehamn har under det senaste decenniet varit föremål för flera utredningar avseende erosion och sedimentdynamik, bland annat följande:

- Stranderosion i Trelleborgs kommun – Sweco, 2012
- Projekt Skånestrand – SGU, 2016
- Kustnära sedimentdynamik – SGU, 2020
- Fysiska och dynamiska förhållanden längs Skånes kust – underlag för klimatanpassningsåtgärder – SGU, 2021

Dessa studier utgör sammantaget ett bra underlag för att förstå förutsättningarna vid Smygehamn. I *Bilaga A – Fördjupad kustteknisk utredning* redovisas de lokala bedömningar som gjorts inom respektive utredning, vilket även sammanfattas i kapitel 4.2. För att förhöja kunskapen kring området ytterligare har en del kompletterande analyser utförts inom ramen för detta projekt. Slutsatser från dessa studier redovisas även de i sin helhet i *bilaga A*.

2. Metod och genomförande

Denna utredning har innefattat detaljerade kusthydrauliska studier och boendedialog och insamling av erfarenhet och kunskap från boende, för att därefter ta fram åtgärder mot stranderosion i Smygehamn. Åtgärderna har utvärderats genom en kostnadsnyttoanalys. I följande underkapitel ges en kort beskrivning av utredningsarbetet.

2.1 Kusthydrauliska studier

Utöver en sammanställning av tidigare studier i området har fördjupade studier av de kusthydrauliska förutsättningarna vid Smygehamn utförts. Detta utredningsarbete utgör i sin tur underlag vid planering, design och dimensionering av åtgärder mot stranderosionen i området. De kompletterande studierna har utgjorts av:

- Uppdaterade flygfotografianalyser och förhöjd detaljeringsgrad vid bedömning av strandlinjens förändring.
- Uppskattning av volymförändringar i strandprofiler. Resultat från dessa bedömningar har använts för att kalibrera sedimenttransportmodell (se nedan).
- Fördjupad analys av vågklimat och modellering av vågor från utsjön in till brytpunkten (nära kusten).
- Modellering av sedimenttransport, för att bedöma transportmönster och livslängd av olika åtgärder.
- Utveckling av en lokal erosionsmodell för beräkning av markförluster i enlighet med Hallin, et.al (2017), men korrigerad för nedströmseffekter av åtgärder.

Sammanfattade slutsatser av dessa studier presenteras i kapitel 4, men för att undvika en allt för teknisk karaktär av denna rapport har mycket av beräkningarna bilagts i *Bilaga A – Fördjupad kustteknisk utredning*.

2.2 Boendedialog

Den 9 november 2021 hölls en digital workshop där boende på havssidan av väg 9 i Smygehamn var inbjudna. Totalt deltog cirka 20 personer. Efter en inledning av Trelleborgs kommun och en presentation av Sweco delades deltagarna in i tre diskussionsgrupper. Syftet med workshopen var att samla in de boendes kunskap, erfarenheter och önskemål. Stort fokus låg i att försöka identifiera vilka värden man såg i sin kust, hur kusten nyttjas och hur man upplever att kraftiga stormar påverkas kustlinjen.

En sammanställning av boendedialogen redovisas i *Bilaga C – Boendedialog*. De synpunkter och den kunskap som framkommit i samtal med de boende har i största möjliga mån tagits hänsyn till i processen med att utveckla åtgärdsförslag.

2.3 Framtagande av åtgärdsförslag

I ett tidigt idéstadium togs ett antal principskisser för erosionskydd fram, bestående av såväl hårda som mjuka kustskydd samt kombinationer därav. Effekterna av de olika kustskyddsstrategierna beskrevs översiktligt och med

detta som underlag genomfördes arbetsmöten mellan Sweco och experter vid Lunds tekniska högskola.

Efter att en första sällning av åtgärdsförslag skett togs bidragen vidare till en internationell workshop inom Swecos nätverk för kustingenjörer, bestående av experter från såväl Danmark som Nederländerna och Storbritannien. Inom ramen för uppdraget har flera tekniska lösningar förkastats till följd av osäker funktion, höga anläggningskostnader, kraftiga negativa nedströmseffekter och av att de kusttekniska förutsättningarna för vissa skyddstyper saknas. Exempel på dessa typer av anläggningar är friliggande vågbrytare och konventionella hövder.

De kvarstående alternativen av kustskyddsstrategier har därefter utretts i detalj, designats och kostnadsuppskattats och är de åtgärder som föreslås i föreliggande rapport.

2.4 Kostnads-nyttoanalys

Kostnads-nyttoanalys (KNA) är en analys som innefattas i det bredare begreppet konsekvensanalys (Naturvårdsverket, 2003). Liksom konsekvensanalyser är kostnads-nyttoanalyser ett stöd för beslutsfattande. KNA bygger på en identifiering av de positiva och negativa konsekvenserna av ett projekt i samhället och syftar till att jämföra dessa konsekvenser med varandra för att se om de positiva konsekvenserna är större än de negativa eller tvärtom. Analysen görs genom att de positiva effekterna (marginalnyttan) och de negativa effekterna (marginalkostnaderna) värderas relativt ett nollalternativ. I en KNA uttrycks de olika konsekvenserna i monetära enheter i så stor utsträckning som möjligt. Kostnads-nyttoanalys som metod beskrivs i en mängd olika textböcker, vägledningar, vetenskapliga publikationer och utredningar. Ett ofta refererat standardverk är (Boardman, Greenberg, Vining, & Weimer, 2011). Vid tillståndsprövning av vattenverksamheter ingår att visa att verksamheten är samhällsekonomiskt motiverad, vilket i föreliggande fall föranleder en kostnads-nyttoanalysen.

För att förstå och tolka resultaten av en KNA är det viktigt att ha grundförståelse för dess matematiska beskrivning och några centrala begrepp. I *Bilaga B – Teoretisk bakgrund KNA* ges en matematisk beskrivning av KNA. Vidare förklaras begreppen kostnader, ex-ante, ex-post, nyttor, lönsamhet, tidshorisont, diskontering samt osäkerhets- och känslighetsanalys. Där beskrivs även kort en föreslagen modell för att beräkna kostnader vid erosion som beskrivs i rapporten *Översiktlig nationell riskkostnadsanalys av ras och skred, översvämningar och erosion* (Sweco, 2021a).

Inom föreliggande projekt beräknas skadekostnader utifrån en uppskattning av det förlorade värdet baserat på försäljningsvärden eller markvärden, en slags ex-postvärdering.

Genomförandet av KNA utgår från nedan beskrivna parametrar: tidshorisont, diskonteringsränta samt val av nollalternativ.

Valet av tidshorisont ska spegla det tidsperspektiv som beslutsfattaren har för det projekt som avses att genomföras. Det kan baseras på teknisk och ekonomisk livslängd för åtgärdslösningar men också för hur länge det är önskvärt att beslutet får effekt, även om tekniska åtgärder behöver uppgraderas under tiden. Valet av tidshorisont påverkas också av tillgång till information med god tillförlitlighet. I denna studie har analys utförts med en tidshorisont ca 45 år

(2025-2070), vilken beror på den tekniska livslängden för åtgärdslösningarna och att osäkerheterna ökar desto längre bort från nuläget som beräkningar sker.

KNA:n genomfördes med två olika diskonteringsräntor: 1,4% i enlighet med Stern-rapporten (Stern, 2006) och med 3,5%, i enlighet med Trafikverkets ASEK-system (Trafikverket, 2020).

Som nollalternativ antas inga åtgärder mot fortsatt erosion att vidtas, varken idag eller i framtiden. Erosionen leder därmed på sikt till att byggnader riskerar att skadas, och nollalternativet omfattar samtliga skadeobjekt som finns längs med sträckan. Skadekostnaderna har uppskattats på två olika vis, vilket beskrivs mer ingående i kapitel 6:

- a) Skadekostnader baserade på skadade bostadshus och ett uppskattat medianvärde av dessa.
- b) Skadekostnader som utgörs av markförluster och lokala markvärden.

3. Erosion & erosionsskydd

Vår kust är dynamisk och omformas konstant efter väder, vind och vågor. Stranderosion är en naturlig process som kan ge sig uttryck på olika vis; det kan bland annat leda till att en strand förflyttas inåt land eller att en kust ändrar karaktär från att vara sandig till att bli mer stening.

För att läsaren av denna rapport ska förstå logiken bakom olika kustskyddsstrategier och de åtgärdsförslag som presenteras så syftar detta kapitel till att ge en bakgrund av erosion och erosionsskydd. I kapitel 3.1 redogörs kortfattat för de viktigaste fysikaliska processer som styr hur kusten utvecklas och hur klimatförändringarna påverkar denna utveckling. I kapitel 3.2 ges en översiktlig presentation av ett urval av olika kustskyddsstrategier och för- och nackdelar med dem.

3.1 Kustmorfologi och erosion

Kustmorfologi är läran om de naturliga processer som pågår längs våra kuster och påverkan till följd av mänskliga aktiviteter inom kustzonen.

Den huvudsakliga transporten av sediment vid sandstränder sker i ett område närmast kusten som ofta benämns den aktiva strandprofilen. Denna zon definieras som avståndet mellan vegetationslinjen på dynen eller slänten och ut till konvergensdjupet, vilket är det vattendjup där vågorna har kapacitet att lyfta sediment (Hallin et al., 2017).

Den allra främsta drivkraften bakom kustnära sedimenttransport är vågor. När vågor närmar sig kusten, omformas och bryter, rör de upp sediment som därefter följer med de kustnära strömmarna. Sediment förflyttas längs med kusten genom så kallad kustparallell transport och ut på djupare vatten genom kustvinkelrät transport. Kustens form (geografiska utseende) påverkar i stor utsträckning i vilken riktning transporten sker och vilka volymer som kan förflyttas och de geologiska förutsättningarna styr hur lättroderbar kusten är.

Två viktiga begrepp inom kustmorfologi är *akut* och *kronisk erosion*. *Akut erosion* är den erosion som uppstår under kraftiga oväder med höga vattenstånd och/eller stora infallande vågor och som ofta ger upphov till tydliga erosionsbranter (Figur 3-1).



Figur 3-1 Exempel på akut erosion. Bilden är tagen under stormen Gorm (2015) i Fortuna, Helsingborg. I bildbakgrunden skymtas en stenskonig. Bild: Elisabeth Lindberg

I samband med dessa händelser, som ofta har en varaktighet på timmar till ett par dygn, kan stora volymer sand flyttas längs kusten och omfattande erosion av dyner och strandplan ske. Begreppet *kronisk erosion* syftar på den erosion som långsamt sker under vardagliga väderförhållanden, där sand förflyttas längs kusten i en långsammare takt men som med tiden kan leda till att volymerna av sediment på ett kustavsnitt minskar kontinuerligt. Kronisk erosion sker på en tidsskala från år till decennier.

I följande underkapitel förklaras de olika typer av transportmekanismer som styr hur sediment förflyttas längs kusten.

3.1.1 Kustparallell transport

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 sned vinkel mot kusten samt av lokala skillnader i våghöjd, vilket genererar kustparallella strömmar. Den kustparallella transporten är som störst i det område där vågorna bryter och begränsas ofta av naturliga eller mänskligt skapade hinder såsom uddar, pirar, vågbrytare eller hamnar. Vid planering av åtgärder i mycket dynamiska områden är det av stor vikt att utreda sedimenttransportens karaktäristik så att eventuella nedströmseffekter kan förutspås. Om sand tillförs kusten genom strandfodring även säkerställas att ökad sedimenttransport inte leder till problem nedströms som exempelvis igensandning av hamnar och försämrade förutsättningar för lokal flora och fauna.

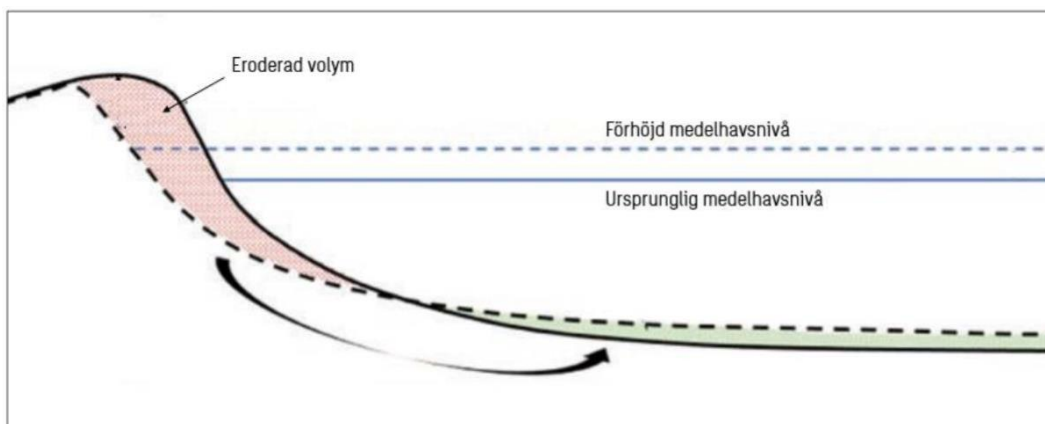
3.1.2 Kustvinkelrät transport

Även den kustvinkelräta sedimenttransporten drivs av vågor och strömmar och medför en omfördelning av sediment utmed strandens aktiva profil. Vid akut erosion under exempelvis stormar och höga vattenstånd eroderas ofta strand

och sanddyner, och sediment transporteras ut på djupare vatten där det deponeras i form av revlar. Under lugnare förhållanden kan strand och dyner återuppbyggas, även om denna process tar betydligt längre tid än erosionsförloppet i samband med storm. Under stormtäta perioder kan det alltså leda till att stranden inte hinner återhämta sig mellan händelserna. 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.

3.1.3 Klimatförändringarnas betydelse för stranderosion

En direkt följd av stigande medelvattennivåer på grund av klimatförändringar är påverkan på kustvinkelrät sedimenttransport. När havet stiger omfördelas sediment inom strandområdet. Den sand som utgör strandplan och dyner eroderas och förflyttas ut till djupare delar av stranden, vilket illustreras i Figur 3-2. I områden med bebyggelse och infrastruktur nära kusten kan strandplan och dyner ofta inte tillåtas förflyttas bakåt och kustens dynamik begränsas, vilket brukar refereras till som "coastal squeeze". Stigande medelvattenyta leder alltså på sikt till att stränder och dyner anpassar sig efter ett förändrat klimat, vilket leder till ökad kronisk erosion och att stranden vill förflyttas längre in mot land.



Figur 3-2 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.

3.2 Erosionsskydd

Det finns flera olika sätt att skydda en kustlinje mot erosion. Vilken typ av lösning som är mest lämplig bestäms i hög grad av den specifika platsens förutsättningar. Bland annat är det viktigt att förstå vilken typ och mängd av sediment som finns på land och i vatten vid den utsatta platsen, vilken den dominerande riktningen för sedimenttransport är och hur det lokala vågklimatet ser ut. De åtgärder som föreslås bör även harmonisera med den övergripande kustförvaltningen, där naturmiljö, ekosystemtjänster och andra mjuka värden ges utrymme. Under de senaste decennierna har fördelarna med olika typer av naturanpassning av erosionsskydd uppmärksamats. En naturanpassning av skydd innebär att de utformas i samklang med den lokala miljön för att minimera dess intrång och eventuell negativ påverkan.

De olika kustskyddsstrategier som finns har alla olika för- och nackdelar och vilken lösning som är mest lämpad beror dels på ovanstående faktorer men inte minst på vad lösningen är tänkt att skydda och hur man vill att området ska utvecklas och användas i framtiden. Olika lösningar kan dessutom kombineras. Det är exempelvis vanligt att kombinera strandskoning med strandfodring för att säkra en kust mot erosion samtidigt som man bibehåller en sandstrand och dess ekosystemtjänster. Vidare kan en strandfodring motverka en ökad erosion nedströms skyddet, vilket är en vanlig konsekvens av hårda skydd.

I följande kapitel beskrivs ett urval av skyddsstrategier mot erosion i kustmiljö; strandfodring, hövder, friliggande vågbrytare och strandskoning, samt för- och nackdelar för varje lösning.

3.2.1 Strandfodring

Strandfodring är ett annat namn för artificiell sandtillförsel och är den metod som internationellt sett är en av de vanligaste kustskyddsstrategierna mot erosion. Det finns många typer av strandfodringsmetoder. Sanden kan läggas direkt uppe på strandplanet, i den strandnära zonen utanför stranden så att vågorna transporterar in sanden till stranden eller användas för att bygga upp och förstärka dynsystem.

Principen för strandfodring är att låta de naturliga processerna fortgå men att sandtransporten i stället får verka på sandutfyllnaden. Fördelen är att erosionsproblemen inte förflyttas nedströms, som är fallet för hårda kustskyddsåtgärder. Då erosionsprocesserna inte förändras i någon större utsträckning innebär det att sandutfyllnaden får upprepas.

Ett praktiskt problem, särskilt i Sverige, är metoden kräver tillgång till rätt sorts sand. Sanden ska ha rätt kornstorleksfördelning, finnas i tillräcklig mängd och bör av estetiska skäl ha samma färg som sanden på den strand som ska fodras. Ofta är marina sandavlagringar att föredra då de uppfyller ovan nämnda krav, samt att det ses som ett mer cirkulärt förlopp än att hämta sand från landbaserade täkter. Det marina täktområdet kan alltså med fördel utgöras av ett område som den eroderade sanden transporteras till.

Vid utformning av strandfodringsprojekt försöker man i ofta i största möjliga mån att efterlikna de stränder och sanddynor som redan finns med avseende på höjd, lutning, bredd och form. Det kan också vara värdefullt med plantering av vegetation på de nya sanddynorna för att begränsa vinderosionen.

Fördelar och nackdelar:

- + Strandens karaktär kan bevaras, vilket kan vara positivt både för turism och för flora/fauna.
- + Uppbyggnad av sanddynor ger översvämningsskydd och fungerar som en sandbuffert för stranden vid extrema väderhändelser.
- + Ingen ökad erosion nedströms, tvärtom kan ofta tillförseln av sediment till områden nedströms öka.
- Sandutfyllnaden kan initialt påverka bottenfauna i utfyllnadsområdet.
- Marina sandtäkter med god sandkvalitet, varvid hållbara uttag kan göras, behöver identifieras.

- Beroende på sandtäktens läge kan kostnader kopplade till transport, samt koldioxidutsläppen från fartyg, bli stora.
- Sedimenttransporten i närområdet kan öka, vilket kan få negativa konsekvenser för exempelvis hamnar eller andra verksamheter känsliga för igensandning.

3.2.2 Hövder

Hövder är en typ av täta pirar som byggs i vinkelrät ut från stranden. Grundtanken är att sand ska ansamlas på uppströmssidan av hövden och på så sätt bygga ut strandplanet. Det nya strandplanet får även en ny orientering som blir anpassad till den förhärskande vågriktningen, vilket medför att erosionen av strandplanet på uppströmssidan minskar. En förutsättning för att kunna bygga hövder är att det finns en tydlig och dominerande sedimenttransportriktning, och störst effekt av hövderna fås om de byggs i serier. Utbyggnaden av strandplanet på uppströmssidan av hövden sker på bekostnad av nedströmssidan, där erosionen istället tilltar. Exempel på hövder i Skåne är bryggorna vid Ystads Saltsjöbad (Figur 3-3), men även hamnar och andra konstruktioner som sträcker sig ut i vattnet kan medföra de effekter som man eftersträvar med en hövd.

Fördelar och nackdelar:

- + Känd och ofta förutsägbar effekt - ansamlar sediment uppströms konstruktionen.
- + Kan byggas för multifunktionalitet – badbrygga, uppehållen och liknande.
- Ger upphov till förändrade strömningsmönster och ökad erosion nedströms skyddet.
- I områden med stor förekomst av drivande tång kan denna ansamlas i konstruktionens närhet.
- Kan utgöra fysiska barriärer för fauna.
- Kan leda till kraftiga ripströmmar och sandförluster till djupare vatten.
- Skyddar ofta inte bakomliggande områden och sanddyner vid högvattensituationer och stormar.



Figur 3-3 Hövder vid Ystad Saltsjöbad. På bilden syns tydligt att sand ansamlas på den västra (uppströms) sidan (grönt fält) och eroderas på den östra (nedströms) sidan (rött fält)

3.2.3 Friliggande vågbrytare / artificiella rev

Friliggande vågbrytare är konstruktioner som uppförs ute i vattnet, parallellt med kusten. Dessa vågbrytare konstrueras för att skydda den innanför liggande stranden från eroderande vågor. Det lugnare vågklimatet leder dels till förändrade strömningsmönster och ackumulation av sediment bakom skyddet, samt till att strand och sanddyner skyddas från höga vågor. Ett exempel på friliggande vågbrytare, öster om hövderna i Ystad kommun, visas i Figur 3-4. Relativt en skyddsstrategi med hövder reducerar friliggande vågbrytare sedimenttransporten förbi skyddet i mindre utsträckning. 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 (Mangor, Drønen, Kaergaard, et al., 2017).

Vidare kan segmenterade¹ friliggande vågbrytare utgöra en fara för simmare eftersom det finns risk för bildning av ripströmmar i gapet mellan de olika segmenten. Ripströmmar är koncentrerade strömmar som för vatten vinkelrätt ut från kusten för att avta direkt utanför brytområdet. Sådana strömmar ligger internationellt sett bakom de flesta drunkningstillbudena vid bad (Sweco, 2020a). Styrkan i 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.

¹ Flera på varandra följande friliggande vågbrytare.

Artificiella rev kan ses som en friliggande vågbrytare med en krönhöjd som ligger under medelvattenytan. De reducerar höjden på vågor som når stranden genom att höga vågor bryter när de passerar över reven. Det är viktigt att krönhöjden ligger tillräckligt högt för att säkerställa att vågorna faktiskt bryter över revet och ett lugnare vågklimat erhålles.

Vid design av konstgjorda rev önskas ofta en god genomsläpplighet, då hålrum i konstruktionen ger plats för fler arter av både fastsittande djur, fleråriga stora alger och betare. Sweco har tidigare gjort en utredning om hur sådana rev kan utformas så att den bakomliggande stranden skyddas med en låg visuell påverkan på landskapsbilden samtidigt som de kan utgöra livsmiljöer för makroalger och marina evertebrater (Sweco, 2020a).

Vågbrytaren kan anläggas av sprängsten eller natursten för att få ett mer naturligt utseende, men kan också bestå av betongelement eller stenkorgar (gabioner).

Fördelar och nackdelar:

- + Konstruktionerna leder till ackumulation av sand och ett bredare strandplan.
- + Konstruktionerna utgör inte hinder för det rörliga friluftslivet utmed stranden.
- + Strand och dyner skyddas från vågerosion.
- + Kan utformas som artificiella rev för att skapa nya eller förstärka befintliga livsmiljöer för marint liv.
- Kräver en relativt hög transport av sediment längs med kusten för att kunna bygga upp strandplan.
- Leder till ökad erosionstakt nedströms skyddet.
- Teknisk komplicerad design höjd, längd och mellanrum mellan skydden. Kräver ofta stora volymer sten.
- Kan utgöra en badsäkerhetsrisk



Figur 3-4 Konventionella friliggande vågbrytare i Ystad. På bilden syns tydliga diffraktionsmönster och ett strandplan med våguddar.

3.2.4 Strandskoning

Strandskoning är en konstruktion som uppförs på land, parallellt med stranden och som syftar till att stabilisera kustlinjen. En strandskoning kan bestå av till exempel betongplattor, stenblock, betong eller spont. Åtgärden är effektiv för att skydda bakomliggande område, men resulterar i erosion på nedströmssidan av konstruktionen. Erosion kan även uppstå utanför konstruktionen i de fall där konstruktionen reflekterar vågorna. Det är vanligt att strandplanet försvinner, blir grövre (kornstorlek) och att profilen fördjupas framför skyddet. Detta leder i sin tur till att större vågor på sikt kan träffa skyddet.

En korrekt anlagd strandskoning är en relativt kostsam åtgärd och strandskoningar upplevs ofta som förfulande av strandmiljön. Strandskoningen leder även till att de naturvärden som finns i dyner och erosionslänter försvinner. Strandskoningen kan med fördel kombineras med till exempel strandfordring. Det finns en rad exempel från Sverige där strandskoningar anlagts. Till exempel har en strandskoning anlagts genom privata initiativ i Löderups Strandbad för att skydda bebyggelse (Figur 3-5). I Lomma har strandskoning gjorts med hjälp av flexplattor i betong (Figur 3-6).

Fördelar och nackdelar:

- + Fixerar kustlinjen och förhindrar ytterligare erosion av dyner och kustslänter.
- + Lämpar sig ofta bra i urbana kustmiljöer (ur estetisk synvinkel).
- + Välbeprövad teknik.

- Kan orsaka erosion av strandplan, botten framför skyddet samt nedströms skyddet.
- Skydden behöver på sikt byggas högre och högre allt eftersom medelvattenytan stiger.
- Försämrar tillgängligheten till stranden. Erosion av strandplanet leder ofta till att passage utmed stranden omöjliggörs.



Figur 3-5 Strandskoning med natursten vid Löderups strandbad.



Figur 3-6 Strandskoning med flexplattor i Bjärred, Lomma kommun.

4. Smygehamns kust

4.1 Kustens karaktär

Kusten kring Smygehamn karaktäriseras idag huvudsakligen av ett smalt strandplan bestående av svallad sten och grus med inslag av finsand. Bebyggelsen ligger nära kusten och vid flera fastigheter finns skyddsmurar uppförda för att skydda den marken bakom strandplanet mot erosion. Såväl äldre stenskoningar som mindre utfyllnader av matjord, ris och grenar tyder på att erosionen fortgår, särskilt i samband med stormar. Dessa indikationer bekräftas av boende i området, som senast vid januaristormen 2017 förlorade flera meter av sina tomter (se Bilaga C). Figur 4-1 till Figur 4-4 visar typiska inslag från berörd kuststräcka.

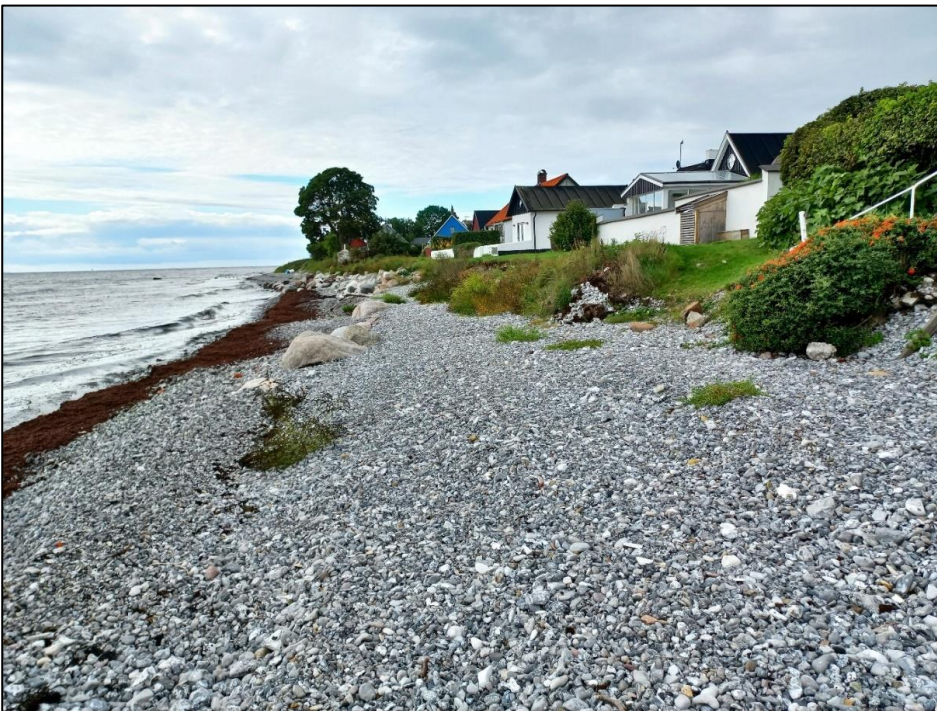
Äldre vykort och fotografier antyder att kustens karaktär har förändrats, och att kusten var mycket mer sandig. Ett flygfoto från 1940-talet (Figur 4-5) visar en betydligt mycket bredare och sandigare strand som förefaller betydligt mer långgrund än dagens strand. Av detta bildmaterial framstår det tydligt att Smygehamns kust varit utsatt för betydande erosion under det senaste seklet.



Figur 4-1 Strandkanten vid den värst drabbade sträckan. I förgrunden syns hur jordmassor har tillförts för att skydda en tomt. Strandplanet är mycket smalt här, endast ett par meter.



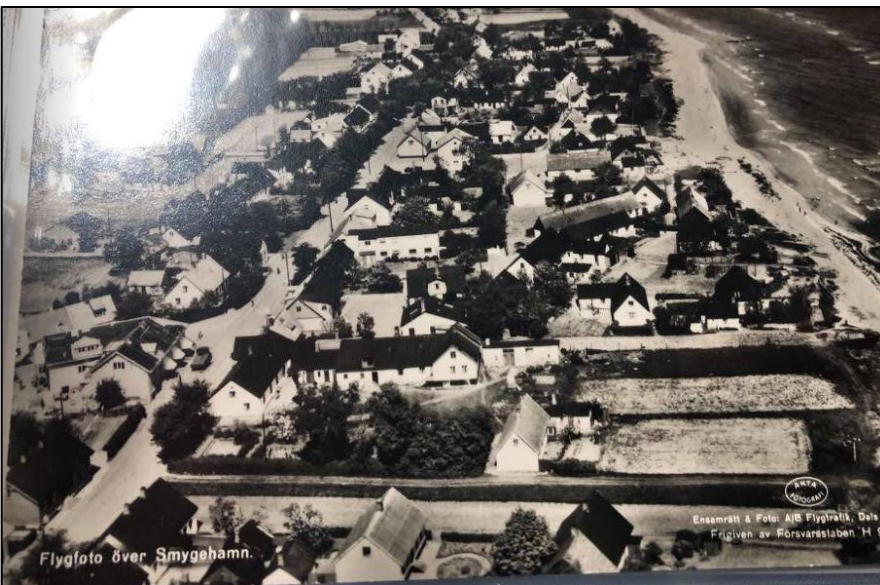
Figur 4-2 Bostadshus i östra Smygehamn. Muren har underminerats av erosion och riskerar att rasa.



Figur 4-3 Stranden består mestadels av småsten. I bakgrunden skymtar en stenskoning som uppförts som skydd mot erosion.



Figur 4-4 Ett skydd av trä har uppförts för att skydda erosionsbranten vid ett stycke tomt framför en fastighet.



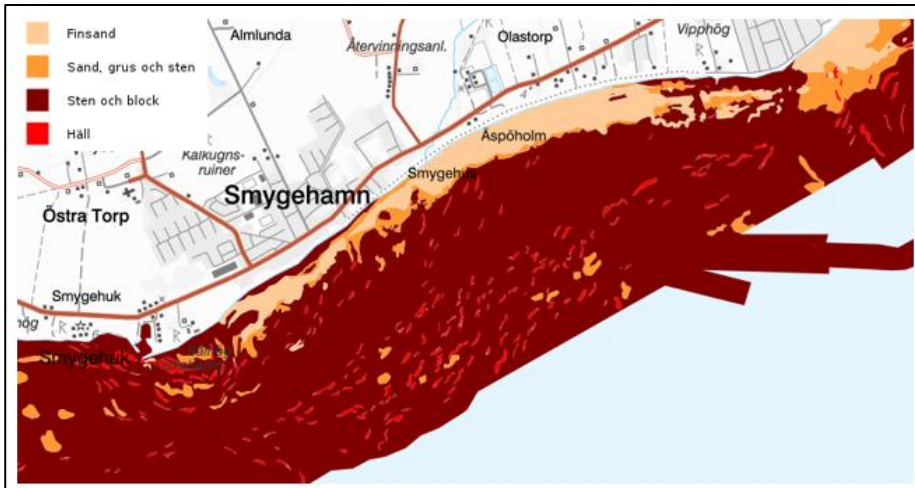
Figur 4-5 Flygfoto, vykort från Smygehamn cirka år 1940. Vykortet tillhör Mats Olsson, bosatt i Smygehamn.

4.2 Maringeologi och sedimentdynamik

I *Bilaga A* presenteras resultat från ett antal studier av såväl Sweco som av andra myndigheter. För att få en förståelse för sedimentdynamiken ges en kortare sammanfattning nedan.

Stranden utanför Smygehamn består huvudsakligen av sand, grus och sten. Sammantaget visar tidigare studier en dominerande sedimenttransport österut

samt att sandvolymen som kan interagera mellan hav och land i bukten vid Smygehamn är relativt liten, särskilt i den sydvästra delen där erosionsproblematiken är som störst. Sanden på havsbotten ökar i omfattning i östra delen av bukten, troligen som ett resultat av östlig sedimenttransport. Detta illustreras i SGU:s karta över ytsubstrat, se Figur 4-6.



Figur 4-6 Maringeologi i området, från SGU:s kartvisare *maringeologi*.

Området mellan Smygehuk och Hörte udde förefaller utgöra ett avgränsat sedimentsystem, med två bukter i Smygehamn och Beddingestrand. Det finns indikationer på att sediment över tid transporteras österut mellan bukten. Under fältbesök har tydliga erosionsskador återfunnits i Smygehamn, samt undermåliga stenskoningar som uppförts för att skydda bakomliggande avloppsnät och bebyggelse. Pilotstudien av SGU (SGU, 2020) pekar på liten eller ingen erosion för Smygehamn.

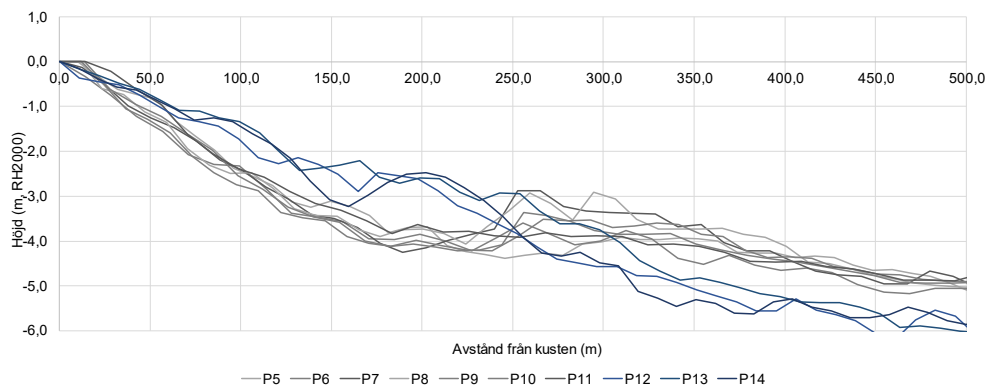
En senare och mer högupplöst utredning från SGU (SGU, 2021) indikerar dock en reträtt av dynfoten i sydvästra Smygehamn. Samtidigt har dynfoten växt till i den nordostliga delen av bukten. Detta har tolkats som att sediment förflyttas från västra Smygehamn som sedan ackumulerar i östra delen av bukten. Den uppdaterade flygfotografianalys som utförts inom ramen för detta projekt (se Figur 4-7) visar att:

- Uppemot 15-20 meter strand har försvunnit sedan 1940-talet, och 5-6 meter sedan 1970.
- Erosionstakten var snabbare 1970-1998 än från 1998 till 2020.
- I Åspöholm har stranden växt till med cirka 20 meter sedan 1970, även om hastigheten avtagit sedan 1998.



Figur 4-7 Digitaliserade strandlinjer från 1960, 1970, 1998, 2004 och 2020.

Analys av djupinformation tyder även på att en betydande erosion skett under vattenytan, där materialet till synes blivit grövre och strandprofilen djupare. En jämförelse av strandprofiler mellan Smygehamn och Åspöholm (Figur 4-8) antyder att kusten vid Smygehamn har en betydligt brantare strandprofil närmast stranden, för att sedan plana ut kring 250 meter från dagens kustlinje.



Figur 4-8 Gråa profiler är extraherade från kusten kring Smygehamn, medan de blå profilerna är från Åspöholm. En fördjupad analys av profilerna går att finna i *Bilaga A*.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att Smygehamn under minst ett sekel varit utsatt för kronisk erosion, och att kusten fortfarande idag eroderar, dock i allt långsammare takt. Finsedimentet i området tycks ha förflyttats österut, vilket skapat en djupare strandprofil kring Smygehamn men lett till en ackumulation av sand kring Åspöholm.

5. Åtgärdsförslag

Baserat på den kunskap kring kustområdets dynamik som tagits fram genom detta och tidigare projekt har ett antal åtgärdsförslag tagits fram.

Åtgärdsförslagen har utvecklats genom workshoparbete inom Swecos internationella nätverk för kustförvaltning. Ett antal kustskyddstekniker (som t.ex. friliggande vågbrytare, hövder) avfärdades i ett tidigt workshopskede. Anledningar till detta var såväl tekniska som miljömässiga och ekonomiska.

I följande kapitel presenteras två huvudsakliga förslag till åtgärder mot erosionsproblematiken i Smygehamn. Syftet med båda åtgärdsförslagen är att reducera risken för att akut erosion leder till skador på fastigheter i området, såväl på byggnader som tomter. De två åtgärdsförslagen är:

- A) Strand- och dynfodring med sand
- B) Förstärkning av befintliga slänter med släntskydd i sten

De olika åtgärdsförslagen har olika för- och nackdelar och för med sig olika konsekvenser för Smygehamn. Förutom att ta fram genomförbara och kostnadseffektiva åtgärder har detta projekt syftat till att lyfta fram lokala värden som kan återskapas, tillskapas eller förstärkas genom åtgärderna. För att åtgärderna ska bli framgångsrika har en målbild för området tagits fram och en viktig del i arbetet har därför varit att tidigt hålla dialog med boende i området.

5.1 Målbild

Trelleborgs kommun har under de senaste åren arbetat med framtagandet av ett tematiskt tillägg till översiktplaner (TÖP) med temat ”stigande hav och översvämning”. Den målbild som detta projekt arbetat efter grundar sig huvudsakligen i de övergripande målbilder som tydliggörs i TÖP:en, däribland att skyddsåtgärder mot översvämning och erosion ska:

- Skydda den byggda miljön från skador.
- Trygga förutsättningarna för allemansrättslig tillgång till kommunens strandområden.
- Bevara goda livsvillkor för djur- och växtlivet.
- Möjliggöra god tillgänglighet och förflyttning längs hela den sammanhängande kustzonen.
- Så långt som möjligt kunna smälta in i landskapet och harmonisera med omgivningen.

Swecos bedömning är att dessa mål är förenliga med det som framkommit under boendedialogen, där de boende tydligt poängterar vikten av tillgänglighetsfrågor, passagemöjligheter och goda promenadstråk. Under samtalen har det framkommit att friluftaktiviteter som vandring, löpning, paddling och fiske är vanligt förekommande och viktigt för områdets identitet.

Då befintliga modeller över framtida kusterosion är behäftade med mycket stora osäkerheter har åtgärdernas livslängd, i kontrast till i TÖP:en, begränsats till år **2070**.

5.2 Alternativ A - Strand- och dynfodring

Alternativ A utgörs av en strandfodring av Smygehamns kust med sand av marint ursprung. Åtgärden innebär att stora volymer sand tillförs strand och revlar. Vid strandfodringstillfället tillskapas en även sanddyn i strandens bakkant.

Strandfodringen syftar till att utgöra en uppgrundning som får vågor att bryta och således minska vågenergin som träffar kusten. Därtill utgör strandplanet och dynen en sedimentbuffert som succesivt kommer minska över tid, men som medan den är verksam tillgodoser att den befintliga slänten inte eroderas ytterligare. Det är viktigt att poängtera strandfodring är en åtgärd som medger att de naturliga processerna får fortgå, och den utlagda sanden kommer alltså att erodera på sikt. Givet att havsnivån stiger som prognosticerat kommer även erosionstakten att accelerera över tid, och så även fodringsfrekvensen.

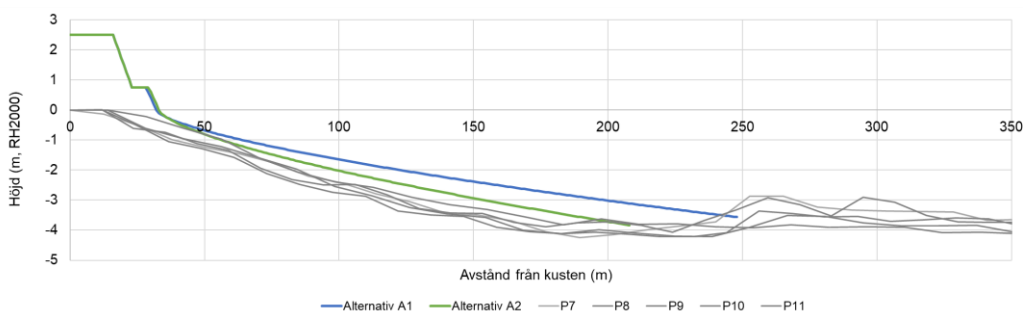
I följande kapitel redovisas tekniska aspekter för två olika utformningar av en strandfodring, alternativ A1 och A2. Båda alternativen är mycket snarlika och skiljer sig enbart i tillförd sandvolym och därmed även beräknad livslängd av skyddet.

5.2.1 Utformning i plan och sektion

Den sedimentbuffert som strandplan och dyn utgör är identisk för båda föreslagna alternativ. Från dagens slänt och mot havet tillskapas en dyn med en höjd av cirka +2,5 meter (RH2000) och en total bredd av 15 meter. Höjden av dynen kommer till viss del behöva anpassas mot befintliga nivåer, vilka varierar mellan +1,8 och +2,5 meter. Efter dynen, åt havet till, följer ett strandplan med en höjd av +0,75 meter och en total bredd av 10 meter.

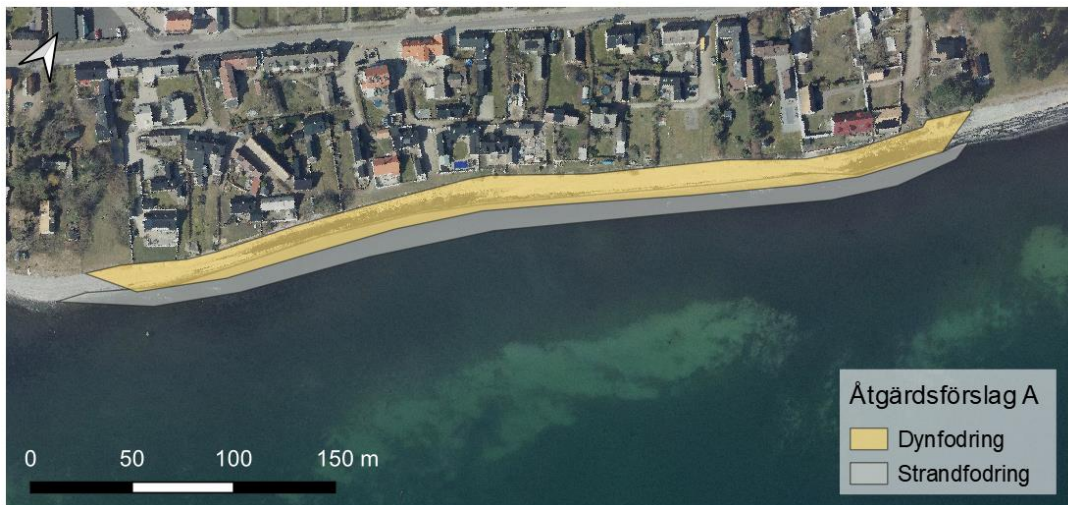
Den huvudsakliga skillnaden mellan de föreslagna alternativen är den sandvolym som placeras under dagens medelvattenyta. Alternativ A1 innebär att en betydligt större volym placeras som en fodring av dagens revlar, och därmed förväntas även livslängden vara större. Sektioner för de olika alternativen presenteras som blå och gröna linjer i Figur 5-1, där de grå linjerna illustrerar dagens bottennivåer.

Förutom att den volym som placeras under vattenytan utgör en förhöjd tröskel över vilka vågor kan bryta så förväntas en större volym leda till långsammare omfördelning mellan strandplan och revlarna.



Figur 5-1 Föreslagen design av sandfodring, alternativ A1 utgör cirka 170 m³/m och alternativ A2 cirka 85 m³/m.

Strandfodringen (ovan mark) illustreras i plan i Figur 5-2 nedan.



Figur 5-2 Översikt över föreslagen strandfodring vid Smygehamn. Notera att kartan endast illustrerar fodringen ovan medelvattenytan, men en större del av sanden tillförs även undervattensprofilen.

Volymuppskattningar och beräkningar av uppskattad livslängd har baserats på resultat från den sedimentmodellering som presenteras i Bilaga A. Vid beräkning av livslängden har även förlust av sediment till följd av havsnivåhöjning inkluderats.

Tabell 5-1 Beräknade volymer sand, samt uppskattad livslängd av fodringen.

	Alternativ A1	Alternativ A2
Sandvolym per löpmeter (m ³ /m)	170	85
Total sandvolym (m ³)	77 000	39 000
Livslängd ² (fodringsfrekvens)	19-27 år	8-14 år

5.2.2 Kostnadsuppskattning

Kostnadsuppskattningar för strandfodring har gjorts baserat på erfarenheter från Swecos tidigare projekt samt uppgifter inhämtade från entreprenörer som frekvent arbetar med strandfodring. Kostnaderna har i denna utredning antagits utgöras av följande poster:

- Tillståndsprocess för sandutläggning och marin sandutvinning
- Etablering av fartyg och entreprenadmaskiner
- Transport och utläggning av sand från marin täkt
- Kontroll, uppföljning och utvärdering.

Antalet referensprojekt av strandfodring är få i Sverige, vid denna rapportens författande har endast Ystad kommun utfört strandfodring i större skala. Utredningar och tillståndsprocesser för marin sandutvinning och strandfodring har historiskt sett varit tidskrävande. Ängelholms kommun har under en längre

² Givet havsnivåhöjning enligt SMHI:s regionala prognoser, linjär trend fram till 2060

period arbetat med tillståndsansökan för både uttag av marin sand vid täkt i Skälderviken och för utläggning vid Klitterhus. Kostnaden för utredningar och ansökan översteg redan innan sista förhandlingen 4,0 MSEK³. Vid strandfodring i Smygehamn förväntas tillståndsprocessen bli enklare och eventuellt kunna samordnas med andra liknande projekt. Som schablonkostnad för tillståndsprocess, kontroll och uppföljning har därmed en kostnad på 2,0 MSEK jämnt fördelat över en tioårsperiod antagits, vilket utgör en årlig kostnad av 200 000 SEK.

Etablering av fartyg och entreprenadmaskiner har antagits utgöra 500 000 SEK per fodringstillfälle.

Transport och utläggning av sand från marin täkt är tätt korrelerat med avståndet till sandtäckten. I föreliggande utredning har kostnaden beräknats baserat på antagandet att sanden hämtas från Sandhammar bank. Med en uppräknig av transportkostnader jämte referensprojekt i Ystad, samt förbehåll för ökade bränslekostnader bedöms kostnaden uppgå till omkring 200 SEK/m³ sand.

	Alternativ A1	Alternativ A2
Tillståndsprocess, kontroll och uppföljning (SEK/år)	200 000	200 000
Kostnad per fodringstillfälle (MSEK)	15,8	8,15
Antal fodringar till 2060	2	4
Total kostnad till 2060 (MSEK)	39,2	40,2

5.2.3 För- och nackdelar

De huvudsakliga fördelarna med föreslagna åtgärder är:

- Strandens karaktär bevaras eller återställs i viss mån. Även om det sannolikt var mycket länge sedan bebyggelsen skyddades av en sandig dyn så visar äldre fotografier på betydligt mer sand utmed berört kustavsnitt.
- Åtgärderna bedöms ej påverka landskapsbilden negativt, eller leda till negativ påverkan på utsikt från bostadshus.
- Åtgärderna bedöms bevara och förstärka goda livsvillkor för djur- och växtliv. Såväl grunda mjukbottnar som erosionsslänter är biologiskt mycket värdefulla miljöer.
- Tillskapandet av ett strandplan kan förstärka strandens rekreationella värden och möjliggör en fri passage utmed kusten.
- Strandfodringen medför en ökad sedimenttransport längs kusten och reducerar således erosion även nedströms verksamhetsområdet.

De huvudsakliga nackdelarna med föreslagna åtgärder är:

- Strandfodring kräver tillgång till stora volymer sand från en marin sandtäkt. Marin sand är en ändlig resurs och tillståndsprövningen för uttag av marin sand är kostsam och tidskrävande.
- Livslängden av strandfodringen är mycket osäker.

³ Föreläsning av Geraldine Thiere vid Dansk-svensk kustkonferens i Malmö 2019-10-08.

- Vid strandfodring åsamkas skador vid såväl täktområdet som vid utläggningsområdet till följd av muddring och övertäckning. Lokal flora- och bottenfauna kan tillfälligt komma att störas av verksamheterna.
- Koldioxidutsläppen i samband med muddring och transport av sand kan bli stora relativt andra åtgärder.

5.2.4 Scenario för KNA

För att representera de förväntade effekterna från åtgärderna på de lokala erosionsförhållandena har markförlustmodellen som beskrivs i *Bilaga A* justerats för att ta hänsyn till det faktum att strandfodringen ger upphov till en ökad sedimenttransport och därmed en minskad erosion öster om åtgärdsområdet.

Det positiva tillskott av landareal som strandfodringen ger upphov till (inom utfyllnadsområdet) har inte medräknats som "positiv markförlust".

5.3 Alternativ B - Släntskydd i sten

Alternativ B utgörs av en konventionell strandskoning i sten, vilket ofta även benämns som stenskoning. Stenskoningar är beprövade kustskydd som på ett effektivt sätt fixerar kustlinjens läge vid önskvärd position.

Vid design och dimensionering av stenskoningar är det generellt två parametrar som är av särskild betydelse; stenstorlek och krönhöjd. Båda dessa parametrar bestäms utifrån våg- och vattenståndsförhållanden. Storleken på stenen behöver vara tillräckligt stor för att vågor inte ska slita loss sten ur konstruktionen och därmed leda till ras eller underminering. Krönhöjden måste vara tillräckligt hög för att inte överspolande vågor ska leda till översvämning eller erosions-skador bakom skyddet. Andra designparametrar som t.ex. släntfotens djup i strandplanet är viktiga vid detaljprojektering. Ett underdimensionerat eller dåligt grundlagt erosionskydd kan leda till höga underhållskostnader och en icke-tillfredsställande funktion.

Släntskyddets höjd har i föreliggande utredning designats för en 100-års händelse år 2060. Beräkningarna baseras på riktlinjer i kustingenjörsmanualen EurOtop (2018) och presenteras ingående i *Bilaga A*.

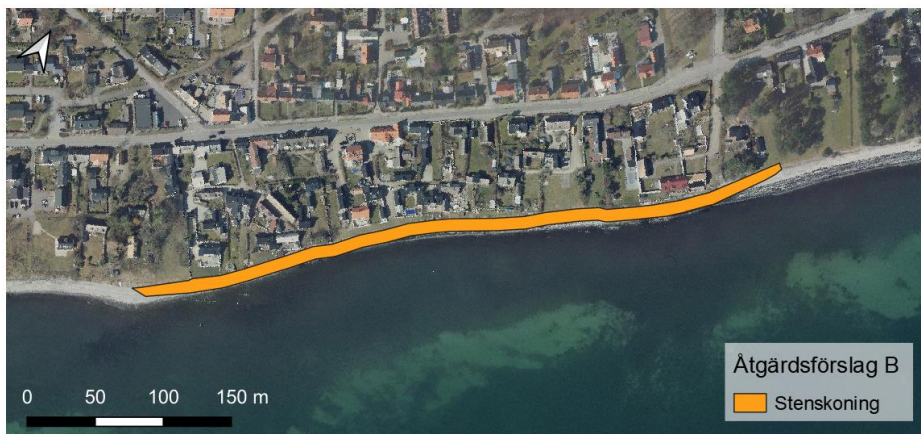
5.3.1 Utformning i plan och sektion

I Tabell 5-2 presenteras erforderlig krönhöjd för en stenskoning vid Smygehamn på tre olika tidshorisonter; idag, 2070 och 2100. Ökningen i krönhöjd beror både på att medelvattenytan stiger, och på att de högsta vågorna kan bli större då de huvudsakligen begränsas av djupet. Beräkningarna tas inte hänsyn till eventuell strandplanserosion, vilket potentiellt skulle kunna medge än högre våghöjder.

Tabell 5-2 Beräknade krönhöjder och total bredd ovan mark för en stenskoning, på tre olika tidshorisonter. Notera att dagens mark ligger på cirka +1,8 - 2,5 meter.

	2022	2070	2100
Krönhöjd (m, RH2000)	3,2	3,85	4,4
Bredd ovan mark (m)	6,4	7,7	8,8

Det kustskydd som föreslås här är dimensionerat en 100-års händelse år 2070. Den totala bredden ovan mark, inklusive ett två meter brett krön, är beräknat till 7,7 meter. Denna konstruktion skulle behöva täcka stora delar av strandplanet. För att tillgodose passage utmed strandlinjen har därmed en mindre stig (2 meter bred) inkluderats i skyddets platsanspråk. Skyddets totala utbredning ovan mark redovisas i Figur 5-3.



Figur 5-3 Promenadväg (2 meter bred) och stenskoning med en total bredd på 7,2 meter (inklusive krönbredd av 2 meter). Ska man kunna gå på krönet? Ännu högre.

5.3.2 Kostnadsuppskattning

Kostnadsuppskattningen för en stenskoning baseras på referenser från projekt med liknande komplexitet, däribland projekt vid Barsebäck hamn och Själlands nordkust. Uppförandet av en stenskoning på platsen är relativt komplicerat då strandplanet är av begränsad bredd, tillgängligheten för större arbetsfordon dålig och väderkänsligheten stor.

Som en schablonkostnad förväntas arbetet med kontroll och underhåll av skyddet uppgå till totalt 250 000 SEK var 10 år, vilket ger en årlig kostnad på 25 000 SEK. Detaljutformning och projektering har uppskattats till 1,0 MSEK.

Materialkostnader beror på tillgång av sten, närheten till stenbrott samt om stenen ska utgöras av sprängsten eller natursten, där sprängsten är betydligt billigare. Kostnaden för material har antagits vara 6000 SEK/löpmeter.

Den uppskattade kostnaden för arbetet har antagits till 12 000 SEK/löpmeter.

Tabell 5-3 Beräknade kostnader för alternativ B.

	Alternativ B
Kontroll och underhållsarbete (SEK/år)	25 000
Detaljutformning och projektering (MSEK)	1,0
Materialutgifter (skyddslager, filtersten) (MSEK)	2,7
Entreprenörutgifter (MSEK)	5,4
Total kostnad till 2070 (MSEK)	10,0

Notera att dessa kostnader är osäkra och först kan fastläggas efter detaljprojektering när geoteknik, mängder och liknande är fastställt.

5.3.3 För- och nackdelar

De huvudsakliga fördelarna med föreslagna åtgärder är:

- Stenskonning är en beprövad teknik och det finns god erfarenhet av både design- och dimensionering av konstruktionstypen.
- Stenskonningen tar relativt liten yta i anspråk. De massor som behöver grävas ut vid nedläggning av släntfot kan återföras så att strandplanet breddas något.

De huvudsakliga nackdelarna med föreslagna åtgärder är:

- För att tillgodose en tillräcklig skyddsfunktion behöver krönhöjden av ett skydd på vara drygt 1-2 meter över dagens marknivåer. På en tidshorisont bortom 2070 behöver skydden höjas ytterligare. Detta medför en kraftig påverkan på såväl landskapsbilden som utsikten från bostäder.
- Den biologiska mångfalden som finns kopplad till erosionsbranter och sanddyner ges inte utrymme.
- Erosion till följd av vågreflektion kan på sikt leda till att strandplanet försvinner och att våghöjden i området ökar ytterligare. Tillgängligheten förbi skyddet behöver lösas genom exempelvis en stig bakom skyddet.
- Hårda skydd leder till ökad risk för nedströmserosion, att erosionstakten ökar österut.

5.3.4 Scenario för KNA

För att representera de förväntade effekterna från åtgärderna på de lokala erosionsförhållandena har markförlustmodellen som beskrivs i *Bilaga A* justerats för att ta hänsyn till den ökade nedströmserosion som kan förväntas efter uppförandet av en stenskonning.

6. Kostnad- och nyttoanalys

Resultatet av de olika åtgärdsförslagen och nollalternativet anges i följande kapitel nuvärdesberäknat.

I Tabell 6-1 redovisas en sammanfattning av utförda delmoment. En fördjupad beskrivning av den metodik som ligger till grund för de beräkningar som presenteras här är bilagt denna rapport genom *Bilaga B*.

Tabell 6-1 Beskrivning av delmomenten i erosionsmodellen.

Delmoment	Hantering av delmomentet för skadehändelsen erosion	
1. Erosionsbedömning	<i>Antas vara ett kontinuerligt och linjärt förlopp till och med år 2070.</i>	
2. Konsekvenser	<i>Uppskattning av eroderad markyta i kvadratmeter (m²) och resulterat antal förstörda* bostadshus (ackumulerat per 10 års period, antaget för det sista året i perioden)</i>	
3. Skadekostnader	a) <i>Försäljningspris bostadshus (år 2015-2020) (Hemnet, 2022)</i>	b) <i>Genomsnittligt markvärde per kvadratmeter (SCB, 2021d), (SCB, 2021e), (Skatteverket, 2021).</i>

* förstörda hus antas vara hus där huskroppen drabbas av erosion

6.1 Samhällsekonomisk skadekostnad

Nollalternativ har definierats som fortsatt erosion med hänsyn till klimatförändringar utan åtgärder för att minska erosion. Nollalternativet omfattar samtliga skadeobjekt som finns längs med sträckan.

Antalet bostadshus som påverkas av erosion mellan år 2025-2070 har beräknats genom en markförlustmodell som presenteras i detalj i *Bilaga A*. Antalet bostadshus som påverkas fram till 2070, givet att inga åtgärder vidtas presenteras i Tabell 6-2 (nollalternativ).

Tabell 6-2 Antalet påverkade bostadshus förutsatt inga erosionsbegränsande åtgärder (nollalternativet).

Årtal	Nollalternativ
2030	1
2040	6
2050	7
2060	5
2070	3

Skadekostnaden för nollalternativet för tidsperioden 2025-2070 uppgår till cirka 78 MSEK (beräknad med 1,4 %) respektive cirka 45 MSEK (3,5 %).

6.2 Åtgärdernas nytto

Åtgärdernas nytto beskrivs genom att beräkna differensen (skadekostnadsreduktion) mellan skadekostnaden för nollalternativet med skadekostnaden efter införandet av åtgärden.

Antalet bostadshus som bedöms förstöras vid erosion (år 2025–2070) beskrivs i Tabell 6-3. Alternativ A1 och A2 innebär att ett hus färre förstörs än i alternativ B. Nollalternativet innebär att totalt 22 hus bedöms förstöras på grund av erosion i området.

Tabell 6-3 Antalet påverkade bostadshus förutsatt inga erosionsbegränsande åtgärder (nollalternativet) respektive åtgärd med strandfodring eller stenskoning.

Årtal	Antal påverkade (förstörda) byggnader		
	Nollalternativ	Alternativ A1 och A2	Alternativ B
2030	1	0	0
2040	6	1	1
2050	7	0	3
2060	5	1	1
2070	3	2	0

Värdet av ett hus har uppskattats utifrån försäljningsvärden på hus i området under 2015 till 2020. Sju hus har sålts med ett medianvärde på 5,3 MSEK, lägsta värde på 2,8 MSEK och medelvärde på 5,1 MSEK. (Hemnet, 2022) Medianvärdet anses beskriva det troliga försäljningsvärdet bäst men utfallet beräknas även med det lägsta försäljningsvärdet.

För alternativ Strandfodring (åtgärdsförslag A och B) har nyttan beräknats till cirka 65 MSEK (beräknad med 1,4 %) respektive cirka 39 MSEK (3,5 %)

För åtgärdsalternativet "Släntskydd i sten" har nyttan beräknats till cirka 60 MSEK (beräknad med 1,4 %) respektive cirka 35 MSEK (3,5 %).

6.3 Åtgärds kostnader

Kostnaderna för åtgärderna ges av anläggningskostnad, reinvestering och underhåll samt reparationskostnader. Kostnaderna har uppskattats och anges under respektive åtgärdsförslag i kapitel 5. Den sammanlagda kostnaden för respektive åtgärdsförslag anges i Tabell 6-4.

Tabell 6-4 Kostnader för respektive åtgärdsförslag i MSEK 1,4 % respektive 3,5 %

		Alternativ A1 - strandfodring	Alternativ A2 - strandfodring	Alternativ B Släntskydd i sten
1,4 %	Investering och reinvestering	28,9	24,7	8,6
	Underhåll, reparation, tillstånd & uppföljning	5,5	5,5	0,7
3,5 %	Investering och reinvestering	23,0	18,5	8,1
	Underhåll, reparation, tillstånd & uppföljning	4,2	4,2	0,5

Alternativ A1 och A2 skiljer sig åt i det att investeringen i åtgärd sker mer uppdelat och i mindre delar för Alternativ A2. Detta innebär att kostnaderna uppstår senare och därmed diskonteras mer och blir lägre.

6.4 Beräkning av samhällsekonomisk lönsamhet

Den beräknade samhällsekonomiska lönsamheten för de olika åtgärdsalternativen presenteras i Tabell 6-5. Det kan konstateras att samtliga alternativ är positiva, med undantag om det lägre försäljningsvärdet ansätts som värde på bostäder. Oavsett diskonteringsränta är Alternativ B mest lönsamt, följt av alternativ A2 och därefter A1.

Tabell 6-5 Nettonuvärde (samhällsekonomisk lönsamhet) för de olika alternativen. Beloppen är uppskattade i miljoner svenska kronor.

		Alternativ A1 - strandfodring	Alternativ A2 - strandfodring	Alternativ B Släntskydd i sten
1,4 %	Nuvärde (median husvärde)	31,1	35,3	50,8
	Nuvärde (lägsta husvärde)	-0,9	3,3	22,7
3,5 %	Nuvärde (median husvärde)	11,8	17,4	26,4
	Nuvärde (lägsta husvärde)	-6,4	-1,8	10

6.5 Fördjupad analys

Beräkningarna i kapitel 6.2 baseras på ett antal havsnära bostäder och deras försäljningspris. Försäljningen i området är relativt liten vilket ökar osäkerheterna kring uppskattningen av bostadsvärdena och vidare resultatet av den samhällsekonomiska kalkylen. Om kalkylen istället beaktat taxeringsvärdet för fastigheterna skulle lönsamheten av att genomföra någon av åtgärderna vara lägre.

I syfte att visa på osäkerheterna med den samhällsekonomiska kalkylen har beräkning med endast markvärde (kronor per kvadratmeter) genomförts. Markvärdena utgår ifrån genomsnittliga dokumenterade taxeringsvärden i Trelleborgs kommun.

Beräkningar av markförluster per år för nollalternativet och samtliga åtgärdsalternativ presenteras i *Bilaga A* och uppgår för:

- Nollalternativet till 780 m²/år
- Alternativ A1 och A2 till 370 m²/år
- Alternativ B till 560 m²/år

Åtgärdsalternativ A1 och A2 innebär mindre markförluster än alternativ B som en direkt följd av att de orsakar mindre nedströmserosion.

I Tabell 6-6 redovisas de olika alternativens samhällsekonomiska lönsamhet. Det kan konstateras att endast hänsyn till (förlorade) markvärden inte visar någon lönsamhet för något av åtgärdsalternativen.

Tabell 6-6 Nettonuvärde (samhällsekonomisk lönsamhet) för de olika alternativen. Beloppen är uppskattade i miljoner svenska kronor.

Diskonteringsränta		Alternativ A1	Alternativ A2	Alternativ B
1,4 %	Nuvärde (mark)	-33,3	-29,1	-8,3
3,5 %	Nuvärde (mark)	-25,8	-20,2	-7,9

7. Diskussion

7.1 Erosion och Bruuns lag

Flera av de resonemang som ligger till grund för denna utredning bygger på den konceptuella modell som Bruuns lag utgör. Modellen är enkel och robust men samtidigt endast giltig under särskilda förhållanden, t.ex. under antagande om att hela strandprofilen utgörs av sand. Smygehamns kust är stening, både ovan och under vattenytan, vilket medför att Bruuns lag sannolikt inte på ett tillfredsställande sätt kan beskriva hur kusten kommer förändras över tid. Mycket forskning pågår för att ta fram modeller som tar hänsyn till exempelvis begränsad sedimenttillgång och blandade sedimenttyper (t.ex. moränkuster).

I brist på mer lämpliga modeller har Bruuns lag applicerats i detta projekt eftersom det ger en fingervisning om vilken erosionstakt som kan förväntas under de närmsta decennierna, och för att kunna sätta ett pris på förlorad mark och skadade byggnader. Det ska återigen poängteras att båda dessa parametrar är behäftade med stora osäkerheter.

Bedömning av åtgärdernas nedströmpåverkan har gjorts baserat på liknande projekt och typiska effekter i områden med liknande kusttekniska förutsättningar. Dessa effekter skulle eventuellt kunna kvantifieras genom studier med dynamiska kustlinjemodeller, men för projektets nuvarande status bedöms dessa inte påverka kostnads- nyttoanalysen utfall på ett avgörande vis.

Vidare bör det tilläggas att den "positiva" markförlust som strandfordringen ger upphov till inte tillgodoräknas i kostnads-nyttoanalysen.

7.2 Kostnads- nyttoanalys

I kostnads-nyttoanalysen har tre åtgärdsförslag analyserats, två alternativ av sandfodring (alternativ A) och stenskoning (alternativ B). Skadekostnaderna har uppskattats på två olika vis,

- a) Skadekostnader baserade på skadade bostadshus och ett uppskattat medianvärde av dessa.
- b) Skadekostnader som utgörs av markförluster och lokala markvärden.

Det kan konstateras att oavsett om lönsamheten beräknas utifrån förlorade bostadshus eller förlorat markvärde är rangordningen för åtgärdsalternativens lönsamhet densamma. Alternativ B (stenskonning) är den mest lönsamma följt av alternativ A2 respektive A1 (strandfodring). Denna rangordning fås oberoende av diskonteringsränta. Sammantaget ger resultatet av kostnads-nyttoanalysen

att alternativ B bör väljas om åtgärder ska vidtas och om enbart fastighets- och markvärde är styrande för val av åtgärd.

Försäljningspriser på bostäder kan variera kraftigt utifrån bland annat konjunktur och efterfrågan. Detta innebär att beräkningarna av den samhällsekonomiska lönsamheten är uppskattade och inte en faktisk sanning. Marknaden mellan år 2015–2020 har inneburit ökande fastighetspriser vilket resulterar i att åtgärdskostnaderna blir relativt "lönsamma" att genomföra, och motsatt effekt skulle fås vid sjunkande eller stadiga bostadspriser. Därför har en beräkning med lägsta värdet på bostadshus vid försäljning genomförts som visar på lönsamhet för åtgärdsalternativ A2 och B med diskonteringsränta 1,4%, och åtgärdsalternativ B med den högre diskonteringsräntan (3,5%). Beräkningen visar att marknadens skattning av bostadsvärdet i området påverkar lönsamheten av åtgärderna.

Utöver att konjunkturen och efterfrågan spelar roll, finns det ytterligare osäkerheter förknippade med den samhällsekonomiska kalkylen. Skadekostnaderna i kalkylen baseras på dagens marknadsvärde där utgångsläget är att befolkningen generellt värderar erosionsrisken lågt, eller inte alls, vid köp av hus. När kunskapen om risker kopplade till kusterosion ökar i samhället kommer bostadsvärdena sannolikt att sjunka i områden med särskild risk för framtida erosion.

Vidare är det av intresse att beakta hur bostadspriserna förändras kopplat till genomförande av skyddsåtgärder. I det fall en åtgärd inte genomförs är det sannolikt att marknadsvärdet av bostäder i riskutsatta områden minskar succesivt med tilltagande erosion. Troligen är effekterna av en åtgärd att bostadspriserna förblir opåverkade. Detta gäller dock enbart till dess att åtgärden inte längre har en skyddande effekt.

Det ska poängteras att de taxeringsvärden som ligger till grund för beräkning av skadekostnader enligt b) ovan är ett medelvärde för hela Trelleborgs kommun. De kustnära fastigheterna har sannolikt ett mycket högre taxeringsvärde. Om högre taxeringsvärden hade antagits i den samhällsekonomiska kalkylen hade lönsamheten för olika skyddsåtgärder ökat, men den inbördes rangordningen av åtgärdsförslagen hade förblivit opåverkad.

7.3 Multikriterieanalys

Den genomförda kostnads-nyttoanalysen är av förenklad karaktär och beaktar endast konkreta ekonomiska värden. En del effekter av åtgärderna är möjliga att kvantifiera i monetära termer och skulle kunna inkluderas i en mer omfattande kostnads-nyttoanalys. Andra effekter som inte är möjliga att kvantifiera kan istället skattas utifrån en poängskala och värderas, detta med hjälp av en multikriterieanalys.

Nedan listas ett urval av relevanta och för resultatet intressanta värden och effekter som kan inkluderas i en fördjupad kostnads-nyttoanalys eller multikriterieanalys:

- CO₂-utsläpp för genomförandet av åtgärderna. Det bedöms sannolikt att strandfodring är det alternativ som idag släpper ut mest till följd av utsläpp från fartyg som används vid muddring och transport av sand.
- Åtgärdernas inverkan på naturmiljön och biologiska mångfalden.

- Grad av naturanpassning och åtgärdernas betydelse för ekosystemtjänster.
- Åtgärdernas inverkan på landskapsbilden och kulturhistoriska värden.
- Åtgärdernas påverkan på turism och turismrelaterade näringar.
- Återanvändning av massor (exempelvis muddermassor).

Beaktande av ovan nämnda parametrar kan komma att förändra rangordningen av föreslagna åtgärdsalternativ. Till exempel kan hänsyn till turismnäringen ge fördelar till strandfodring eftersom stenskoning gör området mer otillgängligt och därmed mindre attraktivt. Hänsyn till CO₂-utsläpp i KNA skulle innebära beaktande till transporter och de utsläpp som följer av själva genomförandet av åtgärden och dess underhåll. Med stor sannolikhet skulle det förändra både skyddsåtgärdernas lönsamhet med ett utfall som inte är försvarbart och även rangordningen mellan åtgärdsalternativen.

Om kommunen väljer att gå vidare med skyddsåtgärd är det till fördel att se över återanvändning av massor. Som exempel kan nämnas att det kan uppstå sandmassor vid andra verksamheter i området, t.ex. vid installation av havsbaserade vindkraftverk eller hamnmuddring vilka kan nyttjas till strandfodring och därmed reducera CO₂-avtrycket.

7.4 Bortom 2070

Osäkerheterna i framtagna prognoser av erosion är stora, även på kort sikt. På längre sikt ökar osäkerheterna ytterligare, särskilt då prognoserna över medelvattenytans läge får en större spridning. I dagsläget bedöms det inte vara möjligt att utreda den framtida strandlinjens läge i Smygehamn för ett tidsperspektiv bortom 2070. Mycket pekar dock på att erosionstakten kommer tillta avsevärt. Kostnaden för att skydda, och påverkan av skydden på naturmiljön, kommer således att öka över tid.

Baserat på de beräkningar som utförts inom ramarna för detta projekt skulle en stenskoning vid Smygehamn medföra ett skydd med en plushöjd över befintliga marknivåer på cirka 2-3 meter vid sekelskiftet. Ett sådant skydd skulle vara mycket skrymmande och sannolikt påverka landskapsbilden i området avsevärt. En sådan skyddsstrategi bedöms inte heller vara förenlig med de mål som satts upp i Trelleborgs TÖP.

En skyddsstrategi med strandfodring skulle förvisso kunna vara möjlig även på längre sikt, men frekvensen och därmed kostnaden av fodringen ökar troligen exponentiellt. Huruvida strandfodring är en kostnadseffektiv och miljömässigt hållbar åtgärd på sikt är osäkert.

Sweco bedömer dock att mycket talar för att bebyggelse och infrastruktur kring Smygehamn rent tekniskt kan skyddas fram till 2070. Om det kommer vara ekonomiskt försvarbart att skydda den kustnära bebyggelsen på längre sikt än så kommer att behöva utredas i takt med att medelvattenytan stiger.

8. Slutsats och rekommendationer

Denna utredning konstaterar att det finns flera alternativa åtgärder mot erosion som på kort sikt är lönsamma ur ett samhällsekonomiskt perspektiv. Den kostnads-nyttoanalys som använts i denna utredning är förenklad och omfattar inte andra värden och effekter som också kan vara av stor betydelse, såsom CO₂-utsläpp, påverkan på naturmiljö, biologisk mångfald, landskapsbild, kulturmiljö eller turism. Beaktande av dessa parametrar skulle kunna förändra både den samhällsekonomiska lönsamheten av skyddsåtgärderna och rangordningen mellan åtgärdsalternativen. Därför rekommenderas att denna utredning kompletteras med en multikriterieanalys för att ge ett mer nyanserat beslutsunderlag.

Kostnads-nyttoanalysen visar att alternativ B (stenskonung) är det mest lönsamma alternativet, vid beaktande av endast försäljningspris i området eller taxeringsvärde för marken.

Alternativ A1 och A2 (strandfodring) medför mindre nedströmserosion, och därmed även lägre skadekostnader. Däremot är investeringskostnaderna för alternativ B avsevärt lägre än för A-alternativen, varför detta alternativ faller ut som det mest lönsamma. Samtliga åtgärdsalternativ kan ur teknisk synvinkel på ett effektivt sätt skydda den byggda miljön från skador orsakade av erosion samt möjliggöra en god tillgänglighet och förflyttning längs hela den sammanhängande kustzonen, även om det vid alternativ B skulle innebära tillskapande av en stig bakom skyddet. Det ska dock poängteras att det endast är alternativ A som till fullo uppfyller de övergripande målbilder som beskrivits i kapitel 5.1. En strandfodring bedöms kunna trygga allemansrättslig tillgång till kommunens strandområden, i högre utsträckning möjliggöra bevarandet av goda livsvillkor för djur- och växtlivet samt kunna harmonisera med kustens karaktär och omgivning.

9. Referenser

- Boardman, A., Greenberg, D., Vining, A., & Weimer, D. (2011). *Cost-benefit analysis; Concepts and practice. 4th Edition*. Upper Saddle River New Jersey: Pearson/Prentice Hall.
- COWI. (2021). *Utredning gällande stigande hav och översvämningar i Trelleborgs kommun*.
- Fredriksson, C., Tajvidi, N., Hansson, H., & Larsson, M. (2016). Statistical analysis of extreme sea water levels for the Falsterbo peninsula, south Sweden. *Tidsskriften Vatten* 72, 129-142.
- Hallin, C., Almström, B., Hanson, H., & Larson, M. (2017). Sandbehov för att motverka stranderosion utmed Skånes sydkust under perioden 2017–2100. *VATTEN - Journal of Water Management and Research*, 77-74.
- Hemnet. (den 27 04 2022). *Slutpriser för bostäder, utdrag från fastighetsprisregistret*. Hämtat från https://www.hemnet.se/salda/bostader?location_ids%5B%5D=898990
- IPCC. (2021). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis*.
- Naturvårdsverket. (2003). *Konsekvensanalys steg för steg: handledning i samhällsekonomisk konsekvensanalys för Naturvårdsverket*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- SCB. (2021d). *Taxeringsvärden per kommun 2020*.
- SCB. (2021e). *Kvadratkilometer per kommun*.
- SGU. (2020). *Kustnära sedimentdynamik, SGU Rapport 2020:04*. Uppsala.
- SGU. (2021). *Fysiska och dynamiska förhållanden längs Skånes kust - underlag för klimatanpassningsåtgärder*. SGU.
- Skatteverket. (den 23 03 2021). *Taxeringsvärde*. Hämtat från <https://www4.skatteverket.se/rattsligvagledning/edition/2021.5/3438.htm#h-Taxeringsvardet-ska-motsvara-75-procent-av-marknadsvardet>
- Stern, N. (2006). *The Economics of Climate Change - the Stern Review*. Cambridge University press.
- Sweco. (2012). *Stranderosion i Trelleborgs kommun*. Malmö.
- Sweco. (2017). *Kustskydd Trelleborg - En idéstudie för hur Trelleborgs tätort kan skyddas mot höga havsnivåer, nu och i framtiden*.
- Sweco. (2021a). *Översiktlig nationell riskkostnadsanalys av ras och skred, översvämningar och erosion*.
- Sweco. (2022). *Framtida kostnader till följd av ras, skred och erosion - Förjupning av klimateffekter*.
- Trafikverket. (2020). *Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 7*. Hämtat från <http://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Samhallsekonomisk-analys-och-trafikanalys/gallande-forutsattningar-och-indata/>

