

# Hydrauliska studier av naturanpassade åtgärder mot erosion i Bärby

Vid Bärby planeras naturanpassade åtgärder mot stranderosion inom ramen för projektet Manabas Coast. De planerade åtgärderna som undersöks är bland annat plantering av ålgräs, anläggande av blåmusselbankar och uppförande av slystaket för att gynna sedimentation framför eroderande strandängar.

Detta PM syftar till att beskriva de hydrauliska förutsättningarna för de olika åtgärderna. Därutöver studeras även hur åtgärderna kan optimeras för att reducera påverkan på stranderosion och samtidigt leda till minskad resuspension av finsediment i viken.

## 1. Platsspecifika frågeställningar i Bärby

Detta dokument inleds med en kort beskrivning av de kusthydrauliska frågeställningar som ställts upp inför design och dimensionering av naturanpassade åtgärder mot erosion i Bärby. Åtgärderna som planeras är bland annat att förstärka befintliga ålgräsängar och blåmusselbankar vars utsträckning år 2021 och 2022 illustreras i figur 1.



Figur 1. Förekomst av ålgräsängar och blåmusselbankar i Bärby, 2021 och 2022.

Nedan listats kortfattat de platsspecifika frågeställningar som ligger till grund för denna studie.

## 1.1 Ålgräsplantering

- Finns det förutsättningar för att plantera ålgräs i det område mitt i viken där det idag ej förekommer? Är grumligheten högre där än i övriga delar av viken? Var uppstår grumligheten i viken?
- Skulle det innebära någon vågdämpning om ålgräs planteras i berört område?

## 1.2 Blåmusselbank

- Hur ska en blåmusselbank bäst utformas (höjd, bredd, geometri) och placeras för att få störst effekt när det gäller vågdämpning inne vid stranden längst in i viken och samtidigt minska transport av sediment från stranden ut till ålgräset?
- Vilken effekt på vågdämpningen skulle en sådan blåmusselbank få?
- Vilken effekt på sedimenttransporten från stranden mot ålgräset skulle blåmusselbanken få?

## 1.3 Slystaket

- Hur långa behöver slystaketen vara för att få en så stor sedimentation innanför som möjligt?
- Vad blir skillnaden om man använder 2 olika längder på öppningarna mellan staketen?
- Bör de innersta slystaketen placeras 10 meter eller 20 meter utanför den utfyllda strandängen? Bör avståndet mellan inre och yttre slystaket vara 5 eller 10 meter?

## 1.4 Dimensioneringsunderlag

- Vilka väderhändelser bör skydden kunna klara av?

## 2. Metodik

Detta metodkapitel beskriver kortfattat den metodik i form av beräkningar och modelleringsverktyg som använts för att svara på de plats specifika frågeställningarna.

I kapitel 2.1 förklaras begreppet bottenskjuvspänning och hur denna beräknats.

I kapitel 2.2 beskrivs metodik för vågmodellering, modelluppbyggnad och hur drivdata till modellen valts ut baserat på det vågklimat som beräknats inom ramen för projektet (Sweco, 2023).

I kapitel 2.3 beskrivs metodik för strömningsmodellering och vattenomsättningsstudier.

### 2.1 Beräkning av bottenskjuvspänning

Beräkning av bottenskjuvspänning har skett enligt den metodik som beskrivs i huvudrapporten *Hydrodynamisk modellering av vågor och strömmar* (Sweco, 2023). Ström- och vågdata har hämtats från den kopplade ström- och vågmodell och omfattar således en total tidsperiod av 5 år (2011-07-01 – 2016-08-01).

Vidare har beräkningar av bottenskjuvspänning utgått från en kornstorlek av  $D_{50} = 0,063$  mm, vilket motsvarar gränsen mellan sand och silt.

### 2.2 Fasupplöst vågmodellering

Den vågmodellering som utförts för åren 2011–2022 är inte utvecklad för att beskriva småskaliga och komplexa vågfenomen som t.ex. reflektion och diffraktion. (Sweco, 2023) Dessa fenomen är av särskilt stor betydelse i skärgårdar och för att på ett korrekt vis beskriva dessa behöver en fasupplöst vågmodell nyttjas.

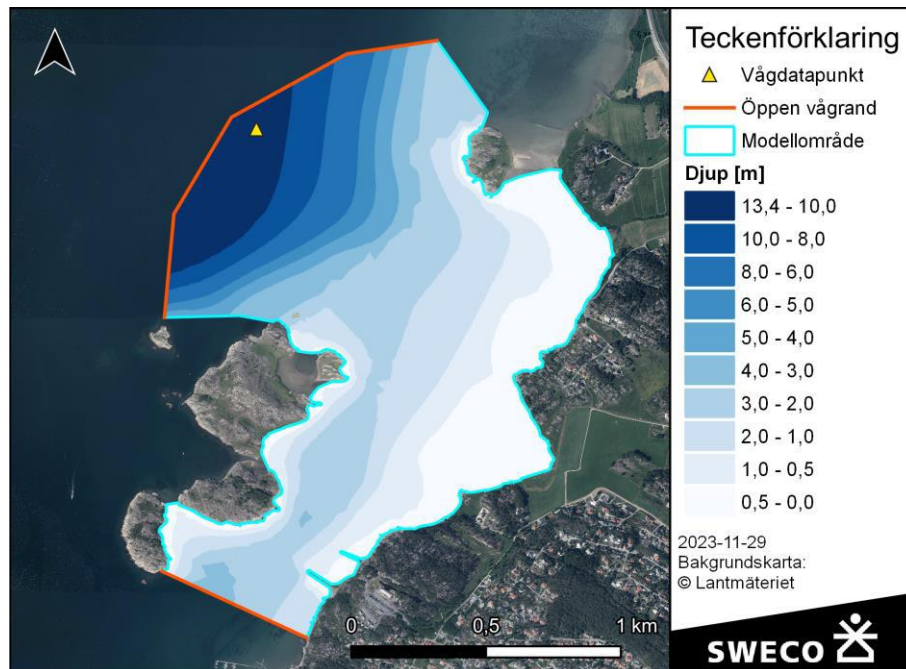
I TELEMAC-systemet som använts i detta projekt ingår den fasupplösta vågmodellen *Artemis*. Till skillnad från spektrala vågmodeller (likt *Tomawac*) används inte dessa modeller för att simulera längre tidsserier av vågor utan simuleringarna kräver vågförhållanden baserat på ett givet vågklimat. För att driva modellen behöver således olika vågparametrar (våghöjd, riktning, period) definieras som randvillkor.

En viktig parameter för vågdämpning är friktion. En musselbank eller ålgräsäng kan ge upphov till förändrad bottenfriktion. I *Artemis* beskrivs bottenfriktion genom friktionsmodell från Puttnam & Johnson (1949). I de formler som beskriver friktionen finns en friktionskoefficient,  $f_w$ . I litteraturen används generellt ett värde av cirka 0.01 för släta bottnar och ett maximalt värde  $f_{w,max} = 0.3$  (Hsiao & Shemdin, 1978) (van Rijn & Wijnberg, 1996).

Blåmusselbankarna bedöms ha stor ytråhet i relation till släta bottnar därmed en högre friktionskoefficient. För att utreda den maximala vågdämpning som musselbankarna skulle kunna ha har den maximala realistiska friktionskoefficienten,  $f_w = 0.3$ , använts på bankarna och  $f_w = 0.01$  har använts i resten av modellområdet.

### 2.2.1 Modelluppbyggnad och indata

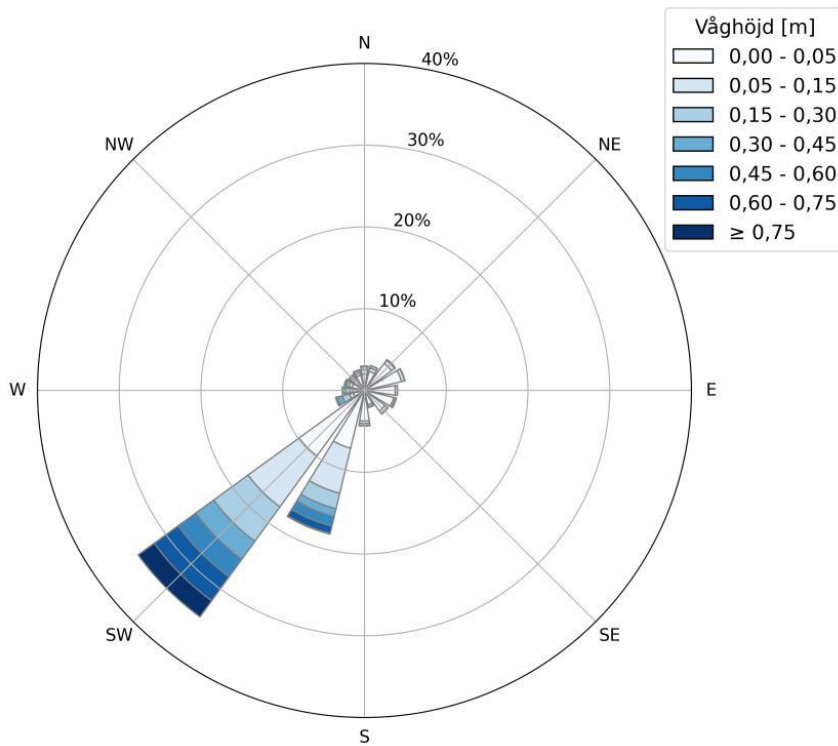
För att simulera vågklimatet med och utan musselbankar har en högupplöst (2 - 3,5 meter) vågmodell över Kyrkeby kile tagits fram. Djupen i modellen har hämtats från den storskaliga hydrodynamiska modellen som beskrivs i Sweco (2023). Modellens geografiska utbredning, randvillkor och djup illustreras i figur 2.



Figur 2. Figur visandes vågmodellens utbredning tillsammans med djupraster. Visar även punkten som nyttjats för att ta ut randvillkor (vågdatapunkt).

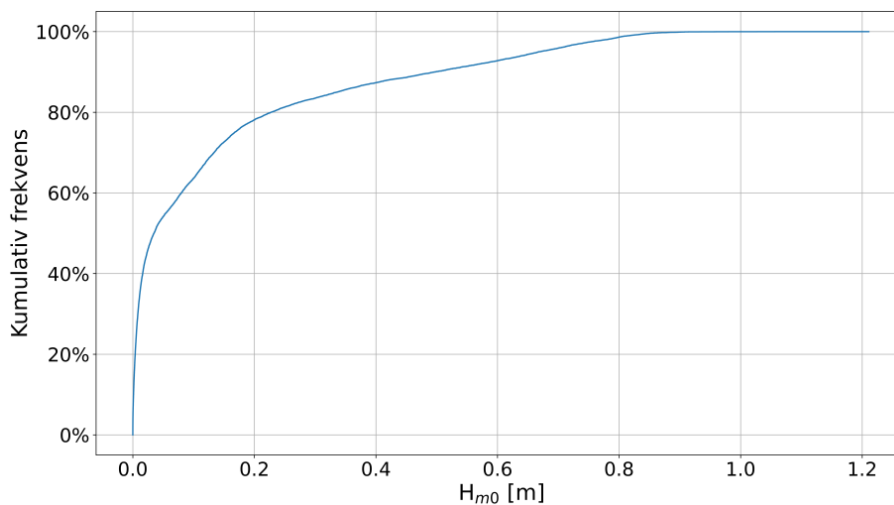
### 2.2.2 Vågklimat och simulerade förhållanden

För att utvärdera vilka vågförhållanden som är relevanta att nyttja för detaljerade studier av vågdämpning har vågklimatet utanför Bärby analyserats med hjälp av resultat från den spektrala vågmodellen. Vågklimatet utanför Bärby illustreras i figur 3, där det framgår att de förhärskande vågriktningarna är från sydväst och att de största våghöjderna också faller in med en sydvästlig riktning.



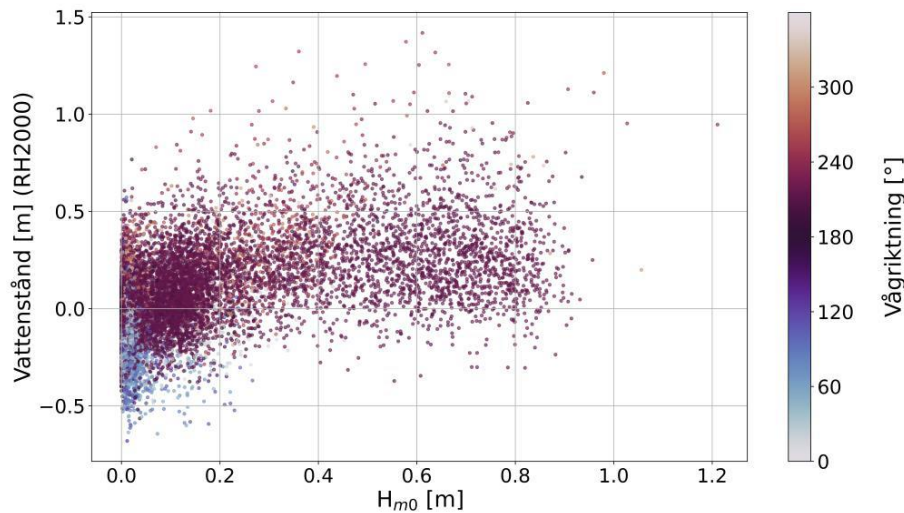
Figur 3. Vågros från vågdatapunkten i figur 2.

I figur 4 redovisas den kumulativa frekvensen av vågor med en given våghöjd. Ur figuren går det att utläsa i hur stor del av tiden vågor över en viss höjd förekommer. Ur figuren har våghöjden som överskrids i 10% av tiden valts ut för simulering. Våghöjden har valts för att representera vågförhållanden som inträffar relativt ofta framför ett extremt scenario. Denna våghöjd motsvarar 0,5 m.



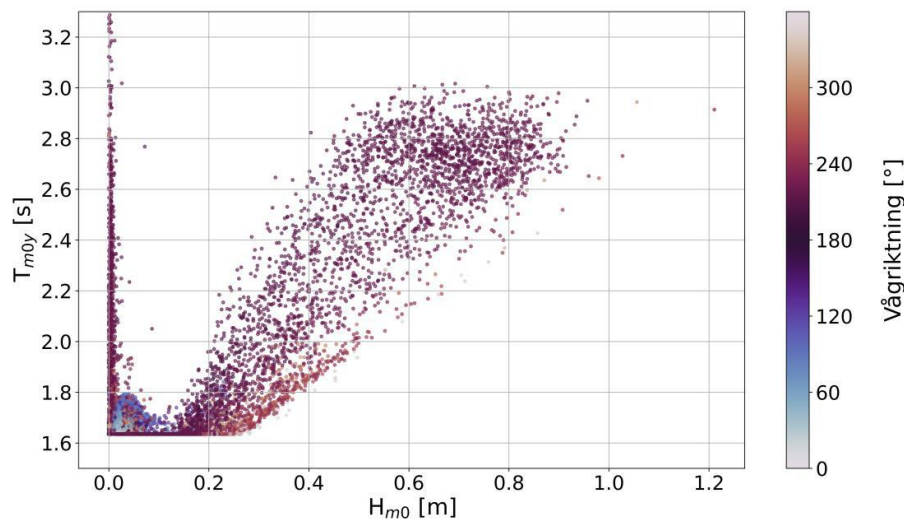
Figur 4. Kumulativ frekvens av vågor med given våghöjd. Den blå linjer visar i hur stor andel (%) av tiden vågor under en given höjd förekommer. Exempelvis illustrerar figuren att våghöjden i punkten är under 0,2 meter i ungefär 80% av tiden.

I figur 5 visas samvariationen mellan våghöjd och stillvattenyta. Av figuren framgår även hur vågriktningen påverkar dessa. Figuren visar att de högsta vågorna inte sammanfaller med de högsta vattenstånden, men att de största vågorna förekommer samtidigt som förhöjda vattenstånd. Vidare kan det utläsas att de största vågorna har en riktning från syd och sydväst.



Figur 5. Figuren visar samvariation mellan våghöjd och stillvattenyta. Färgen på prickarna symboliserar även vågriktningen. Riktningen för vågorna är definierad som "kommer från".

I figur 6 visas våghöjd och riktning som en funktion av vågperioden. Av figuren framgår att vågperioden ökar med våghöjden, och att den högsta vågperioden uppgår till cirka 3 sekunder. Förekomst av vågor med längre perioder (större än cirka 6–7 sekunder) skulle indikera att vågor från ytterskärgården når Bärby, men analysen visar att endast lokalt genererade vågor förekommer i området.



Figur 6. Våghöjder, -perioder och -riktningar som når Bärby under den simulerade perioden. Riktningen för vågorna är definierad som "kommer från".



Vidare visar figuren tydligt att vågor med sydlig och sydvästlig riktning ger upphov till högst våghöjder och längst perioder.

### Vågscenarier

Baserat på ovanstående analys av vågklimatet i Bärby har 2 vågscenarier tagits fram, vilka beskrivs i Tabell 1. Dessa vågscenarier har använts för att utvärdera den vågdämpande effekten av planerade blåmusselbankar. Vågscenarierna har valts för att representera förhållanden som är ovanliga men inte extrema. Vid låga vattenstånd upptar blåmusselbanken en större andel av vattenpelaren och bedöms därför ge större vågdämpande effekt. För att kunna visa på denna effekt har ett vattenstånd som är lågt under givna vågförhållanden simulerats (se figur 5 för samvariation mellan vågor och vattenstånd).

De framtagna scenarierna är konstruerade för att skapa en förståelse för den potentiella vågdämpande effekten från musselbankarna. Kombinationen av låga vattenstånd och relativt höga vågor bedöms ge upphov till en högt skattad dämpning.

Tabell 1. Vågscenarier som har analyserats i Bärby

| Scenario | Våghöjd | Vågriktning (från) | Vågperiod  | Vattenstånd (RH2000) |
|----------|---------|--------------------|------------|----------------------|
| 1        | 0,5 m   | 300° – 330°        | 2,5 – 3,0s | +0,1 m               |
| 2        | 0,5 m   | 210° – 240°        | 2,5 – 3,0s | +0,1 m               |

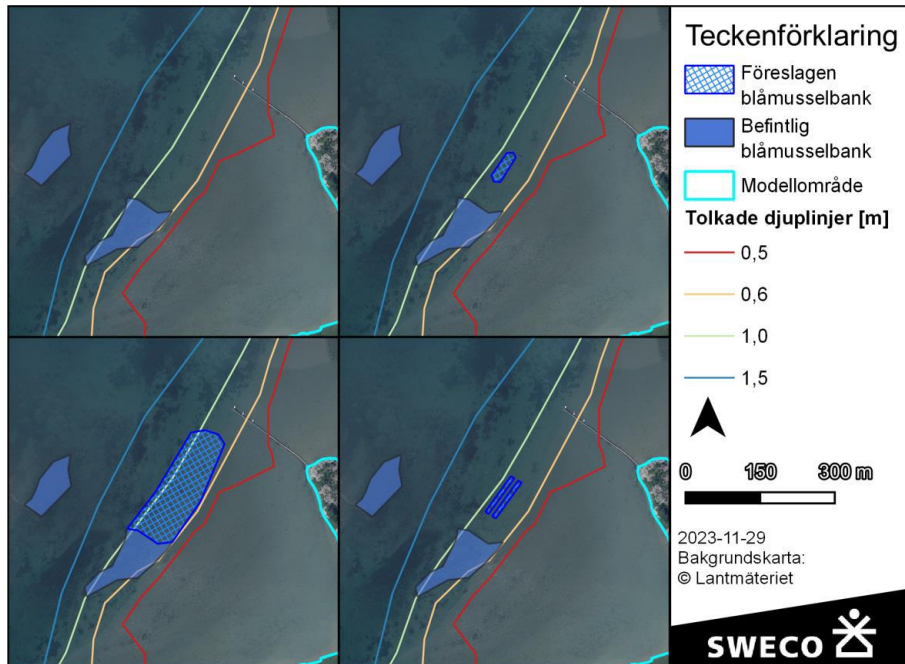
### 2.2.3 Utformning av blåmusselbankar

Blåmusselbankarna antas vara 12,5 cm höga och den totala bottenarean som de antas ta i anspråk är 1 300 m<sup>2</sup>. Bankarna har placerats på platser med vattendjup som är större än eller lika med de djup där det finns befintliga dokumenterade blåmusselbankar i området.

Blåmusselbankarna inkluderas i vågmodellen genom en lokal upphöjning av batymetrin och en lokal ökning av friktionskoefficienten.

För att testa huruvida en uppdelning i flera bankar skulle kunna leda till en ökning av vågdämpningen till följd av ett ökat formfriktionsmotstånd (*eng. form drag*) gjordes en simulering med de 1 300 m<sup>2</sup> uppdelade i två långsträckta revlar.

För att studera effekten av musselbankarna om dess storlek ökas från dagens begränsning på 1 300 m<sup>2</sup> har en känslighetsanalys med 20 000 m<sup>2</sup> musselbank även utförts. Blåmusselbankarna har inkluderats i den fasupplösta vågmodellen genom en lokal höjning av batymetrin samt en lokal ökning av bottenråheten.



Figur 7. Musselbanksscenarier. Övre t.v.: endast befintliga musselbankar (0).  
 Övre t.h.: 1 300m<sup>2</sup> sammanhängande musselbank (A).  
 Nedre t.v.: 20 000m<sup>2</sup> sammanhängande musselbank (B).  
 Nedre t.h.: 1 300m<sup>2</sup> musselbank uppdelat i två revlar (C)

Samtliga musselbanksutformningar summeras Tabell 2 nedan.

Tabell 2 Banksценарier

| Bank | Bottenarea (m <sup>2</sup> ) | Antal bankar | Bottendjup (m) |
|------|------------------------------|--------------|----------------|
| A    | 1 300                        | 1            | 0,6 - 0,9      |
| B    | 20 000                       | 1            | 0,6 - 1,1      |
| C    | 1 300                        | 2            | 0,6 - 0,9      |

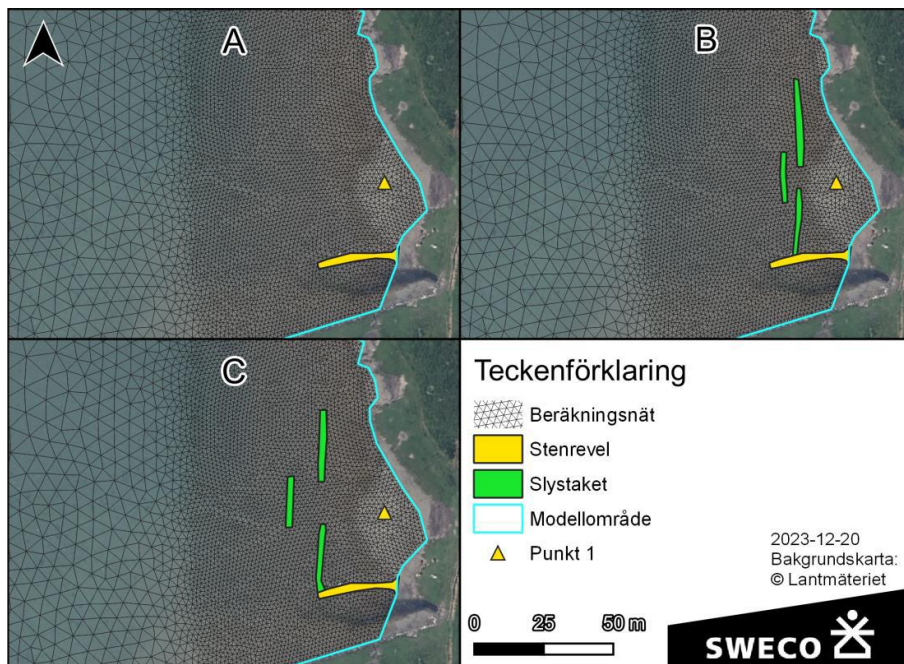
## 2.3 Vattenomsättningsstudier

För att undersöka vilken effekt på vattenutbytet, och i förlängningen på sedimentationsförhållanden, som anläggandet av de slystaket och den stenrevel som visas i figur 8 kan ge upphov till har en spridningsmodell satts upp. Spridningsmodellen har upprättats i programvaran Telemac2D och är baserad på den strömningsmodell som beskrivs i Sweco (2023). Denna har anpassats genom en lokal förfining av beräkningsnätet i området kring åtgärdsområdet för att bättre kunna beskriva vattenomsättningen i mycket lokala områden. Trots dess ringa storleksordning bedöms det dagvattenutlopp som mynnar söder om stenreveln kunna ha en viss påverkan på vattenutbytet bakom slystaket. Därför har ett litet dagvattenflöde om 3 l/s inkluderats i modellen.



För att bedöma förändringen i vattenutbytet har ett fiktivt, vattenlösligt och kemiskt inert spårämne introducerats i modellen. Spårämnet introduceras till modellen genom ett litet flöde (0,5 l/s) i två punktkällor, en källa bakom vardera av de två inre slystaketen och med en initialkoncentration om 1000 µg/l.

Modellen har använts för att simulera tidsperioden juli till och med augusti 2011 för samtliga tre utformningsförslag (A–C) som visas i figur 8. Tidsperioden som nyttjas för simuleringen har valts godtyckligt, och är tillräckligt lång (2 månader) för att kunna beskriva en bred uppsättning strömningsförhållanden. Val av beräkningsperioden kan påverka de maximala strömhastigheterna, men bedöms inte ge upphov till de övergripande bedömningarna rörande åtgärdernas påverkan på vattenomsättningen.



Figur 8. Kartor över de förfinade beräkningsnät som har använts för vattenomsättningsstudierna.

## 3 Resultat

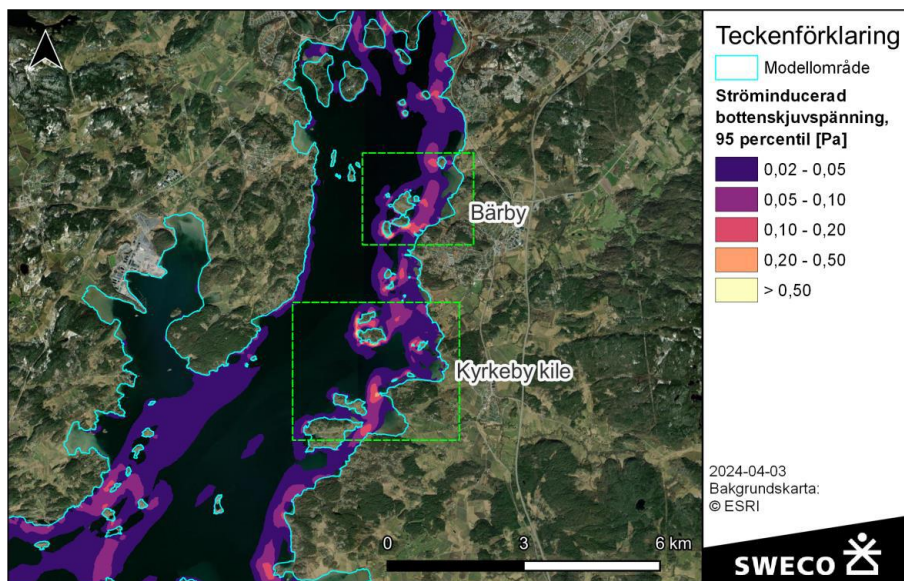
I följande avsnitt presenteras resultat från beräkning av bottenskjuvspänning, vågmodellering och vattenomsättningsstudier.

### 3.1 Bottenskjuvspänning

Beräkning av bottenskjuvspänning har utförts för hela den tillskapade tidsserien av kopplade ström- och vågdata enligt metodik beskriven i Sweco (2023). För att förstå i vilka områden sannolikheten för hög bottenskjuvspänning är störst redovisas resultaten i kartor. Till följd av platsernas måttliga exponering redovisas 95-percentilen av beräknad bottenskjuvspänning. De värden som visas för bottenskjuvspänningen är alltså det värde som endast överskrids i 5% av tiden.

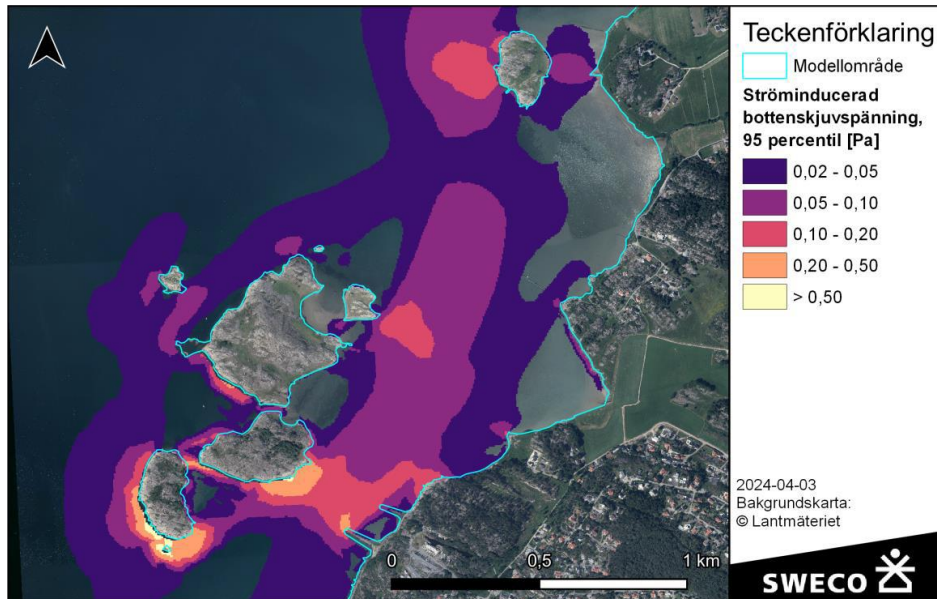
#### 3.1.1 Bottenskjuvspänning från strömmar

I figur 9 visas beräknad bottenskjuvspänning (95:e percentilen) till följd av strömmande vatten i ett större område kring Bärby och Kyrkeby kile. En mer detaljerad karta över Bärby presenteras i figur 10.



Figur 9. Ströminducerad bottenskjuvspänning i ett större område kring Bärby och Kyrkeby kile. 95:e percentilen.

Generellt visar figur 9 att den ströminducerade bottenskjuvspänningen är som högst längs kustbandet och särskilt i smala sund och i direkt anslutning till öar och skär. Bottenskjuvspänningen är högst i områden med hög strömhastighet och grunda bottendjup. I större hydrauliskt avgränsade vikar som exempelvis Svansvik kile (väster om Kyrkeby kile) är strömningen till följd av vattenståndsvariationer lägre, och så även den beräknade bottenskjuvspänningen.



Figur 10. Ströminducerad botten-skjuvspänning i Bärby. 95:e percentilen. Kartans utsträckning i förhållande till den Kyrkeby kile framgår av figur 9.

Figur 10 illustrerar att den ströminducerade botten-skjuvspänningen är högst i sundet mellan Mellanholmen och fastlandet. Strömhastigheten ökar när sundet smalnar av, vilket ger upphov till ökade krafter mot botten. I anslutning till berörda strandängar är botten-skjuvspänningen från strömmar låg, eftersom de dominerande tidvattenströmmarna inte når in till vikarna. Längs vikens nordostliga kant, mitt emot Bärby holme, är den beräknade strömhastigheten och därigenom botten-skjuvspänningen högre än invid den södra stranden.

Ålgräs förekommer både i områden med hög och låg relativ botten-skjuvspänning, jämför figur 1.

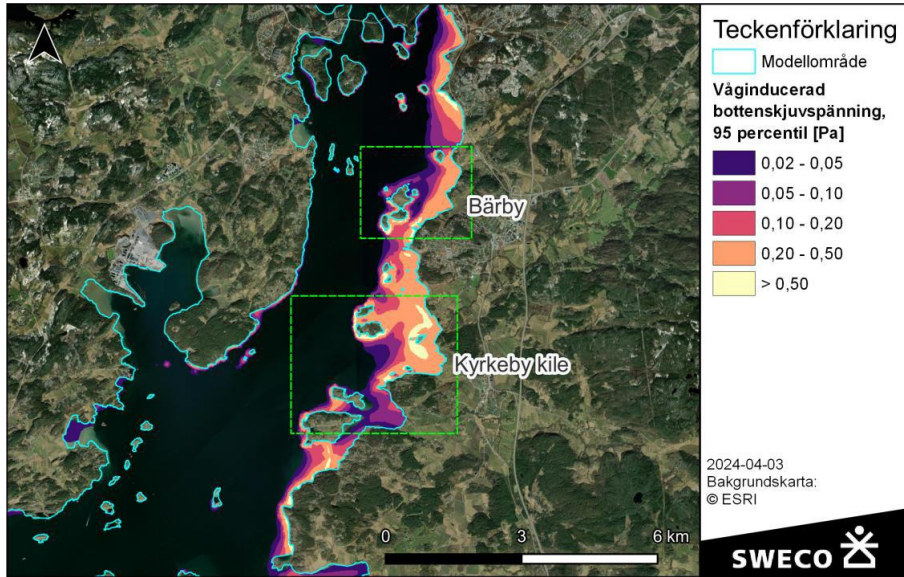
### 3.1.2 Bottenskuvspänning från vågor

I figur 11 visas beräknad skjuvspänning (95:e percentilen) till följd av vågor i ett större område kring Bärby och Kyrkeby kile. En mer detaljerad karta över Bärby presenteras i figur 12.

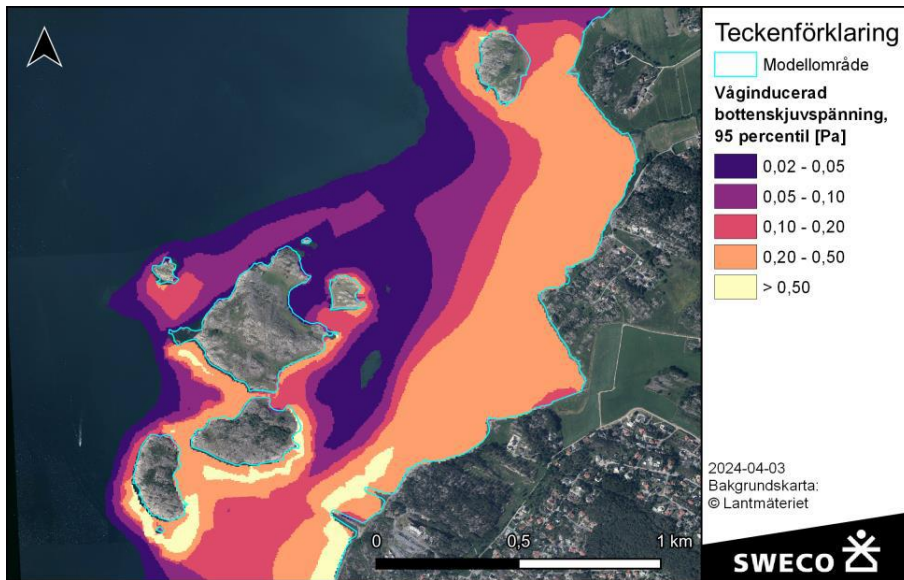
Översiktskartan i figur 11 visar att botten-skjuvspänningen är högre utmed den östra kusten, som är frekvent exponerad för vågor. I de östliga områdena är även modellupplösningen högre, vilket gör att de grunda bottnar där skjuvspänningen är som störst är bättre upplöst. Av figuren framgår vidare hur skyddade partier bakom öar är utsatta för lägre våginducerad botten-skjuvspänning.

Vid jämförelse av figur 1 och figur 12 framgår vidare att såväl stora ålgräsbestånd som blåmusselbankar är belägna i ett område med hög relativ botten-skjuvspänning.





Figur 11. Våginducerad botten-skjuvspänning i ett större område kring Bärby och Kyrkeby kile. 95:e percentilen. Av figuren framgår att den beräknade botten-skjuvspänningen är högre i de västliga delarna av fjorden, vilket delvis förklaras av att kraftiga vindar i området oftare har en västlig komponent. I de västliga områdena är även modellupplösningen högre, vilket gör att de grunda botten där skjuvspänningen är som störst är bättre upplöst.

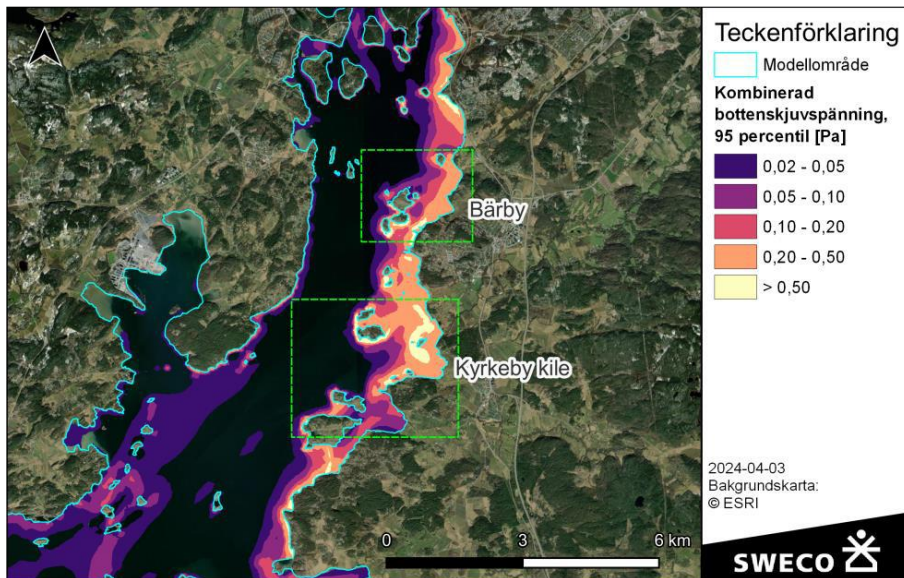


Figur 12. Våginducerad botten-skjuvspänning i Bärby. 95:e percentilen. Kartans utsträckning i förhållande till Kyrkeby kile framgår av figur 11. Av figuren framgår att den våginducerade botten-skjuvspänningen avtar med ett ökat botten djup. I de allra grundaste bottenarna är även skjuvspänningen lägre till följd av en reducerad vågenergi.

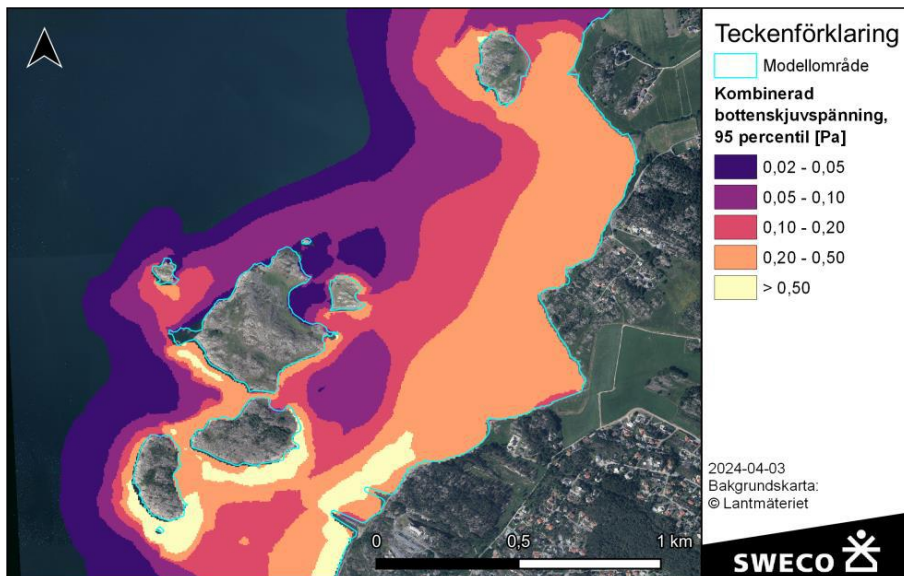
### 3.1.3 Kombinerad bottenskjuvspänning

I figur 13 visas beräkningar av kombinerad bottenskjuvspänning i ett större område kring Bärby och Kyrkeby kile. En mer detaljerad karta över Bärby presenteras i figur 14.

Vid jämförelse av kartor för kombinerad och våginducerad bottenskjuvspänning framgår det att den huvudsakliga orsaken till höga krafter på bottenarna är till vågverkan.



Figur 13. Kombinerad våg- och ströminducerad bottenskjuvspänning i ett större område kring Bärby och Kyrkeby kile. 95:e percentilen.



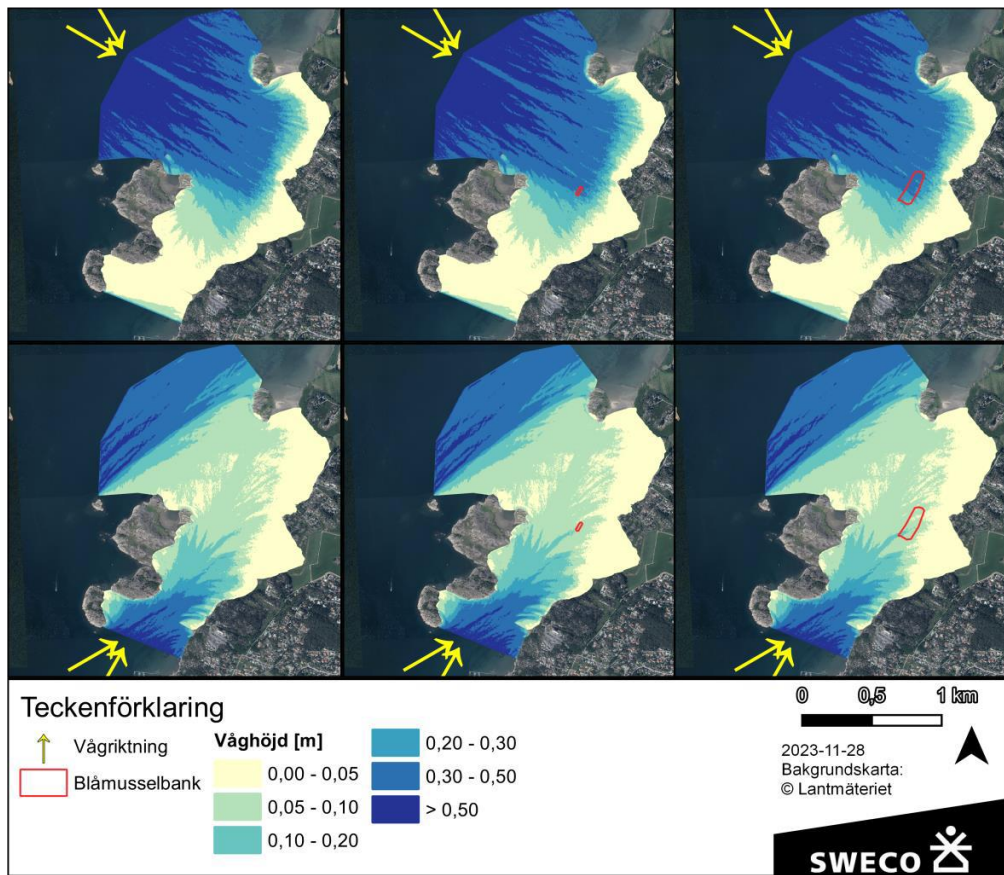
Figur 14. Kombinerad våg- och ströminducerad bottenskjuvspänning i Bärby. 95:e percentilen. Kartans utsträckning i förhållande till Kyrkeby kile framgår av figur 13.



### 3.2 Vågmodellering

I figur 15 visas modellerade våghöjder vid olika blåmusselbankar (bank 0, A och B) med infallande vågor från sydväst och nordväst.

Modellresultaten visar att de största vågorna, infallande från väst och sydväst, dämpas kraftigt av förträngningen i det södra sundet (diffraktion) samt att djupförhållandena leder till refraktion av vågorna, vilket sprider ut vågenergin effektivt och förhindrar att vågor av betydande höjd når viken. Nordvästliga vågor har större möjlighet att nå viken och befintliga blåmusselbankarna. Dessa vågriktningar leder dock sällan till några höga vågor (se figur 6, grå punkter).



Figur 15. Våghöjder med olika utformning av blåmusselbankar. Övre raden: vågor från nordväst. Undre raden: vågor från sydväst. Till vänster: ingen bank (nuläge). Mitten: 1 300 m<sup>2</sup> bank i anslutning till befintlig bank. Till höger: 20 000 m<sup>2</sup> bank i anslutning till befintlig bank.

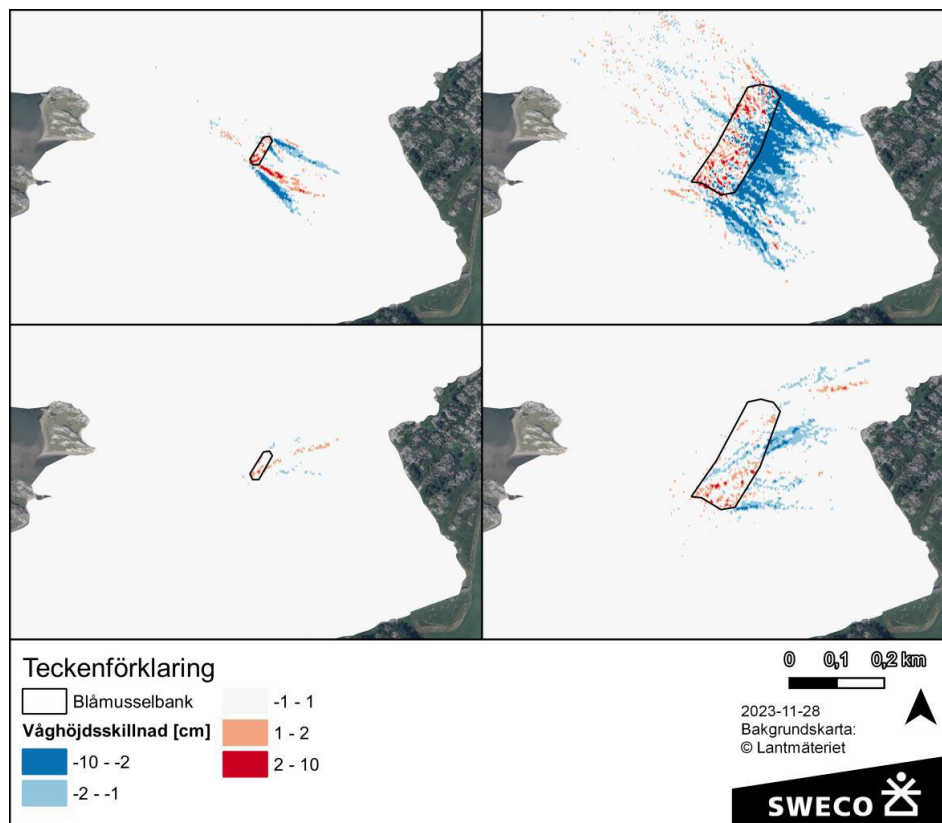


I figur 16 presenteras ovanstående vågsimulering genom en differensskarta, som visar förändringen av våghöjd till följd av studerade blåmusselbankar.

Av figuren framgår att en bank A har en begränsad påverkan på vågdämpning. I bankens flanker sker en vågdämpning på uppemot 4 cm, vilket motsvarar knappa 10% av den infallande våghöjden under simulerade förhållanden. Vågdämpningen sker i bankens direkta närhet men invid kusten har denna vågdämpande effekt avtagit. Figuren visar även att våghöjden växer till i vissa områden till följd av våginterferens.

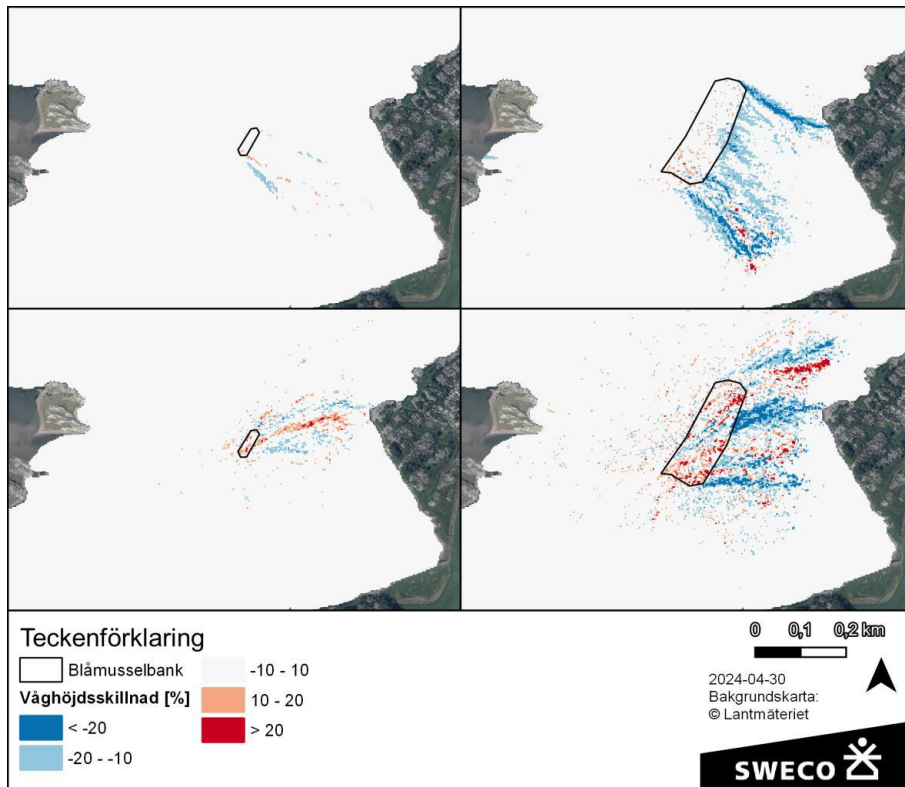
För bank B är vågdämpningen betydligt större. Av figur 16 framgår att våghöjden ökar över själva banken för att sedan reduceras mellan 1–10 cm (2–20%) över ett område lika stort som banken (ca 20 000 m<sup>2</sup>). Vågdämpningen är dock lokal och tycks inte leda till minskade våghöjder vid strandplanet.

Figuren visar vidare att vågdämpningen är störst vid nordvästliga vågor. Detta förklaras av det faktum att stor vågdämpning av sydvästliga vågor sker i sundet mellan ön och fastlandet.



Figur 16. Vågdämpning från blåmusselbank. Övre raden: vågor från nordväst. Nedre raden: vågor från sydväst. Till vänster: 1 300 m<sup>2</sup> bank i anslutning till befintlig bank. Till höger: 20 000 m<sup>2</sup> bank i anslutning till befintlig bank.

Figur 16 visar vidare att det även uppstår viss vågreflektion till följd av revet, vilket medför att mindre skillnader i våghöjd även uppstår "framför" skyddet. Dessa våghöjdskillnader är dock mycket små och bedöms inte ge upphov någon fysisk påverkan på bottenarna. Resultaten har även översatts till en procentuell vågdämpning under det studerade scenariot, vilket presenteras i figur 17. Av figuren framgår att vågdämpningen kan uppgå till uppemot 20% i vissa delar av området.

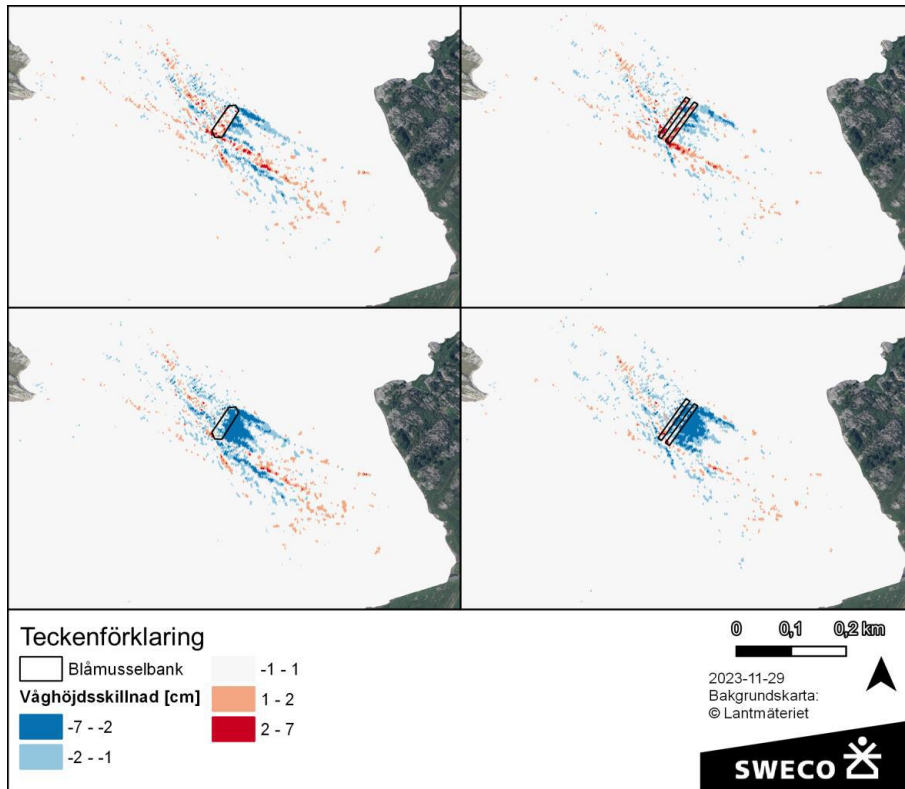


Figur 17. Procentuell vågdämpning från blåmusselbank. Övre raden: vågor från nordväst. Nedre raden: vågor från sydväst. Till vänster: 1 300 m<sup>2</sup> bank i anslutning till befintlig bank. Till höger: 20 000 m<sup>2</sup> bank i anslutning till befintlig bank.

Modelltester har även gjorts för att utreda hur en lokalt ökad friktionsförlust, till följd av en ökad bottenråhet från blåmusslorna, påverkar vågdämpningen och en viss ökning av vågdämpningen kan konstateras, se figur 18.

I samma figur visas även resultat från modelltester som gjorts för utvärdering av uppdelning av banken i flera stråk (Bank C), för att eventuellt generera en ökad formfriktionsförlust. Resultatet från detta modelltest visar på dock på en mycket liten skillnad i vågdämpningen, jämfört med att ha musselbanken samlad i ett sammanhängande område.

Eftersom den maximala realistiska friktionskoefficienten har använts ger den nedre kartorna i figur 18 en uppskattning av hur stor vågdämpande effekt som musselbankar i området maximalt kan få.



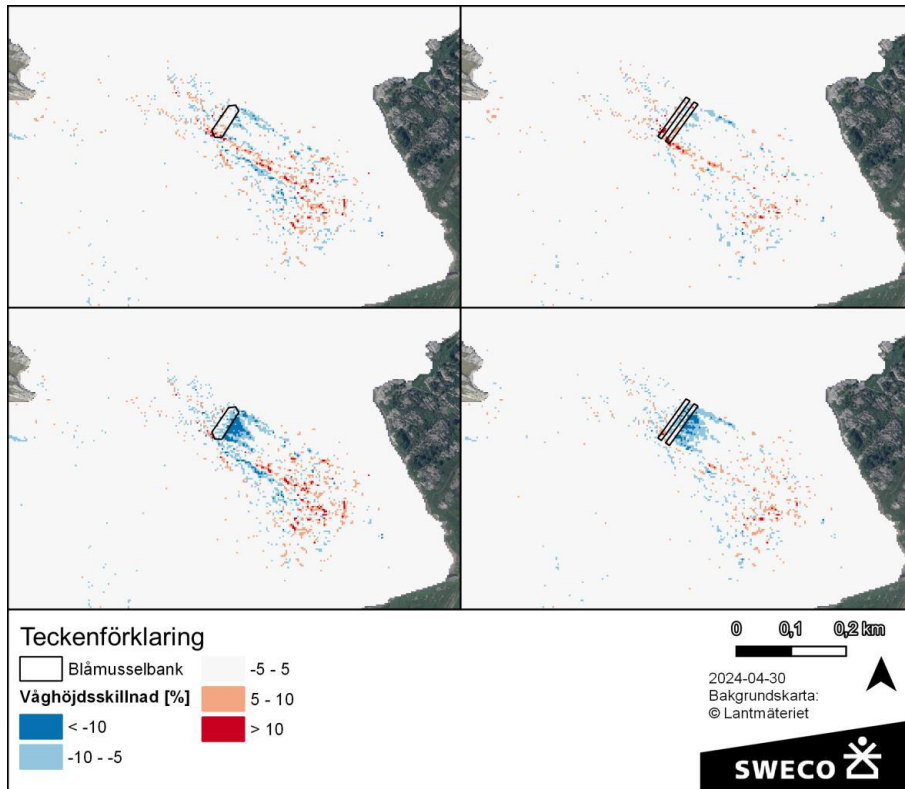
Figur 18. Vågdämpning från blåmusselbank, vågor från nordväst. Övre raden: ingen ökad ytråhet på banken. Nedre raden: Maximal realistisk ytråhet på banken. Till vänster: 1 300 m<sup>2</sup> sammanhängande musselbank. Till höger: 1 300 m<sup>2</sup> musselbank uppdelad i två revlar.

Precis som för de olika huvudalternativen har även den procentuella vågdämpningen beräknats för ovan beskrivna modellförsök, vilket presenteras i figur 19.

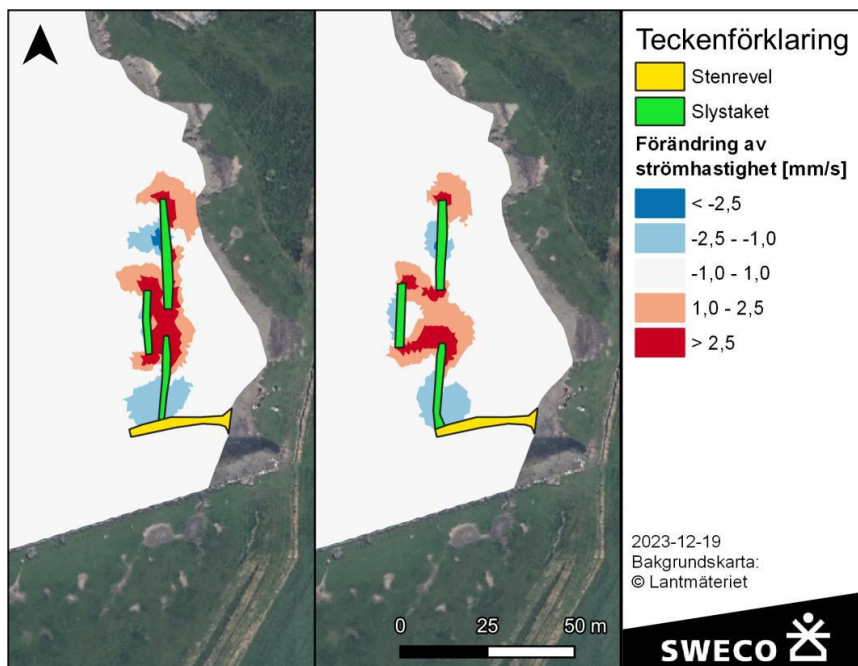
### 3.3 Vattenomsättningsstudier

I figur 20 visas hur strömhastigheterna i den innersta delen av viken påverkas till följd av de olika konfigurationerna av slystaket. Generellt sett är strömhastigheterna i området mycket låga men en skillnad i strömhastighet kan ses kring slystaketens öppningar. För båda konfigurationerna ökar strömhastigheten lokalt i öppningarna.

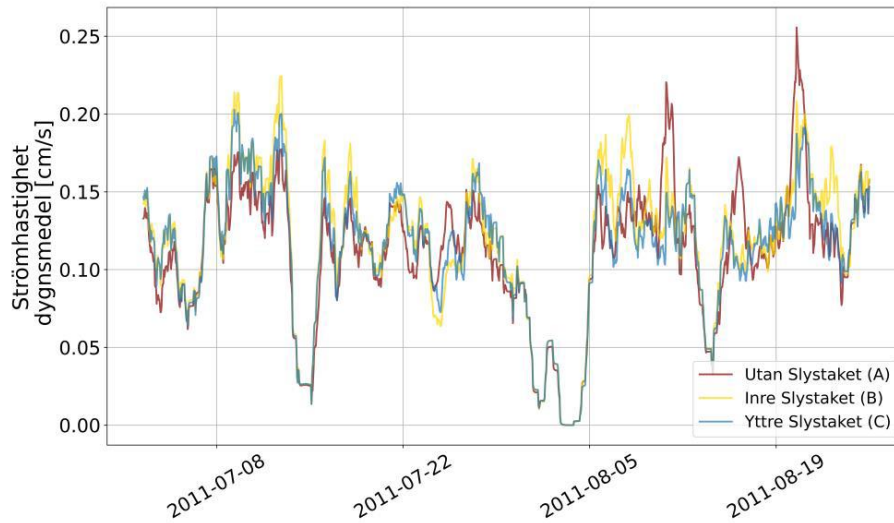
För att sätta strömhastigheterna i figur 20 i relation till strömhastigheterna utan staketen visas i figur 21 en tidsserie av strömhastigheter i en punkt innanför staketen (punkt 1, figur 8). Figuren visar hastigheterna som dygnsmedel, och det framgår att hastigheten har tydlig variation över tid. Dygnsmedel har använts för att öka läsbarheten av diagrammen och det ska poängteras att det förekommer högre strömhastigheter när kortare tidsperioder studeras.



Figur 19. Procentuell vågdämpning från blåmusselbank, vågor från nordväst. Övre raden: ingen ökad ytråhet på banken. Nedre raden: Maximal realistisk ytråhet på banken. Till vänster: 1 300 m<sup>2</sup> sammanhängande musselbank. Till höger: 1 300 m<sup>2</sup> musselbank uppdelad i två revlar.



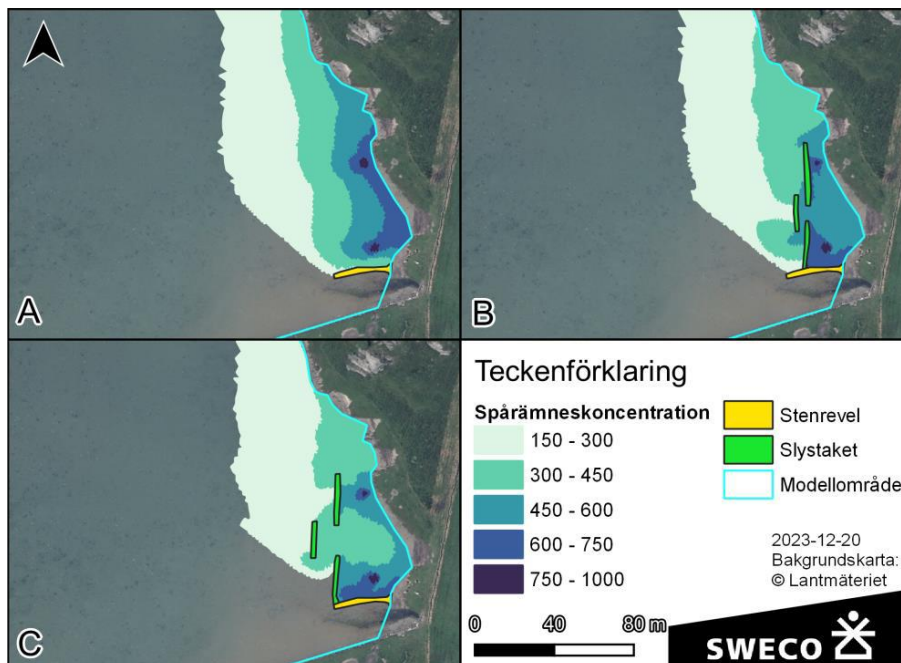
Figur 20. Kartor som visar förändringen av medelströmhastigheten till följd av de olika utformningsförslagen på slystaketen jämfört med utformningsförslaget med enbart stenrevel (A).



Figur 21. Rullande dygnsmedelströmshastighet från Punkt 1 (se figur 8 för de tre olika utformningsförslagen (A-C)).

I figur 22 visas resultat från spridningssimuleringen. Kartan visar medelkoncentrationer av det fiktiva spårämne som släpps innanför slystaket.

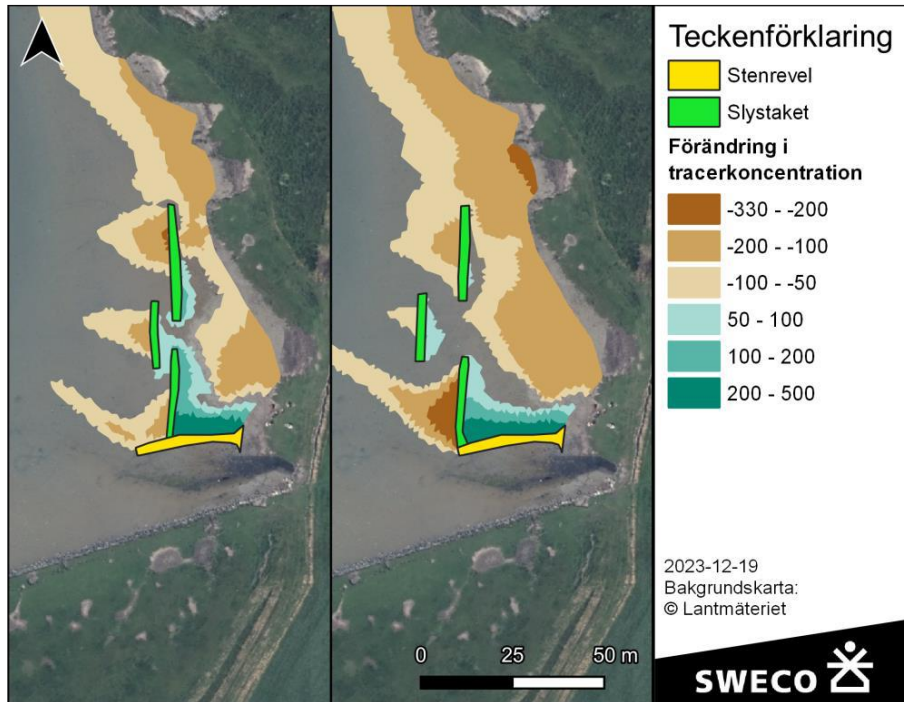
Av figuren framgår att koncentrationen av spårämnet ökar precis norr om stenreveln för båda fallen med slystaket. Koncentrationen ökar mest för fall B. En ökning av koncentrationen är synonymt med ökad uppehållstid av vattnet, och kan därmed även tolkas som ökade förutsättningar för ackumulation.



Figur 22. Kartor som visar medelkoncentrationen av det spårämne som har använts i de digitala infärgningsproven för olika slystaket.



Figur 23 visar förändringen av medelkoncentration av spårämne för alternativ B och C, jämfört med alternativ A (endast stenrevel). De gröna områdena indikerar ökad uppehållstid av vatten medan bruna färger indikerar minskad uppehållstid (ökat utbyte).



Figur 23. Kartor som visar förändring av medelkoncentration för de två olika utformningsförslagen på slystaketen.



## 4 Slutsatser

### 4.1 Ålgräsplantering

*Finns det förutsättningar för att plantera ålgräs i det område mitt i viken där det idag ej förekommer? Är grumligheten högre där än i övriga delar av viken? Var uppstår grumligheten i viken?*

Det område mitt i viken där ålgräs idag saknas har tidigare inrymt stora bestånd av ålgräs. Resultaten från beräkningar av bottenskjuvspänning indikerar att detta område inte utmärker sig genom vare sig hög eller låg bottenskjuvspänning, jämfört med de platser där dagens ålgräsbestånd finns. Modelleringen visar alltså att området kan vara lämpligt för plantering av ålgräs.

Beräkningar av bottenskjuvspänning av vågor och strömmar indikerar att det finns stora områden med likartad bottenskjuvspänning, och således flera områden där bottenerosion tidvis kan förekomma. Framtaget kartmaterial visar att olika områden utmärker sig med hög bottenskjuvspänning beroende på om krafter från vågor eller strömmar analyseras. Utan djupare kännedom om bottenssubstratet är det dock inte möjligt att konstatera exakt var grumlingen först uppstår. Det ska poängteras att även om bottenssubstratet är välstuderat föreligger betydande osäkerheter kopplade till beräkningar av resuspension, se kapitel 5.2.3 i huvudrapporten.

*Skulle det innebära någon vågdämpning om ålgräs planteras i hålet?*

Det är känt att ålgräs kan minska vågenergi och friktionen från ålgräs ökar ju tätare och större utbredning ången har. En plantering av ålgräs i berört område kan således minska vågenergin som når kusten. I föreliggande studie har känslighetsanalyser av ökad bottenfriktion utförts, vilket visar på en viss vågdämpning. De ytarealer som är aktuella för ålgräsplantering bedöms dock vara för små för att ha en signifikant betydelse för vågdämpning och erosionsrisk av strandängarna.

### 4.2 Blåmusselbank

*Hur ska en blåmusselbank bäst utformas (höjd, bredd, geometri) och placeras för att få störst effekt när det gäller vågdämpning inne vid stranden längst in i viken och samtidigt minska transport av sediment från stranden ut till ålgräset?*

*Vilken effekt på vågdämpningen skulle en sådan blåmusselbank få?*

Utförd modellering visar att vågdämpningen ökar med bankens storlek. De studerade bankarna med en yta av 1300 m<sup>2</sup> uppvisar en mycket liten och lokal vågdämpning. Bankarna med större utbredning ger ett större utslag på vågdämpningen, men även de större bankarna bedöms

ha mycket liten påverkan på förhållandena vid stranden. Dessa åtgärder bedöms således ur ett kusthydrauliskt perspektiv inte kunna reducera risken för erosion av strandängarna.

Modellresultaten indikerar vidare att om musselrev med en "revelstruktur", det vill säga en utformning i flera parallella stråk, inte förändrar vågdämpningen över revet. Likartad vågdämpning fås således med båda utformningarna.

Blåmusselbankarna kan även ses som en övertäckningsåtgärd, där erosiva sediment täcks över med blåmusslor. Denna övertäckning kan således minska risken för resuspension. Blåmusselreven kan med fördel därmed förläggas i områden med relativt hög botten-skjuvspänning. Vågdämpningen över reven kan vidare leda till minskad botten-skjuvspänning i lä av revet, vilket kan minska risken för resuspension även i dessa områden.

Erosion av finpartikulärt material från strandängarna bedöms inte vara en signifikant källa till grumlighet i studieområdet. Den grumlighet som uppstår vid ålgräsängarna bedöms ha sitt ursprung i andra områden än inne vid strandängarna, och transporten av sediment från strandängarna till ålgräsängarna har därför inte bedömts vara av större vikt. Det finns flera platser inom närområdet där resuspension sannolikt startar tidigare (vid mer måttliga väderförhållanden) och även omfattar större bottenyta.

### **4.3 Slystaket**

*Hur långa behöver slystaketen vara för att få en så stor sedimentation innanför som möjligt?*

Hur goda sedimentationsförhållandena blir innanför slystaketen beror både på strömhastigheten och vågklimatet innanför skyddet. Det bedöms sannolikt att vågdämpningen från slystaketen är effektiv, även om vågmodelleringen visar att dämpningen sker av en redan mycket låg våghöjd. Specifika studier av vågdämpning från slystaketen har inte varit möjlig då de vågdämpande egenskaperna av skydden är okända och då staketen har för små dimensioner för att kunna upplösas i en vågmodell.

En ökad längd av slystaket leder till en ökad vågdämpning över ett större område och med ökad vågdämpning förbättras förutsättningarna för sedimentation i området mellan staketen och land.

*Vad blir skillnaden om man använder 2 olika längder på öppningarna mellan staketen?*

Vattenomsättningsstudierna visar att strömhastigheterna förändras till följd av slystaketen, där de leder till ökad vattenomsättning i vissa områden och minskad i andra.

Modellresultaten indikerar vidare att strömhastigheterna blir högre med smala öppningar mellan staketen. För att motverka hög bottenskjuvspänning och försämrade sedimentationsförhållanden kring öppningarna bör staketen ha en god permeabilitet. Med en god permeabilitet kan troligen strömhastigheterna i öppningarna minska samtidigt som ett bra vattenutbyte kan bibehållas.

*Bör de innersta slystaketen placeras 10 meter eller 20 meter utanför den utfyllda strandängen? Bör avståndet mellan inre och yttre slystaket vara 5 eller 10 meter?*

Båda alternativen med slystaket, B och C, uppvisar snarlika resultat på vattenomsättningen. Om staketen placeras vid ett större bottendjup ökar vågexponeringen något, men även denna skillnad bedöms vara marginell.

Baserat på modellresultaten bedöms erosion av finpartikulärt material från strandängarna inte vara den huvudsakliga källan till grumlighet i studieområdet. Den grumlighet som uppstår vid ålgräsängarna längre ut i viken bedöms ha sitt ursprung i andra områden än inne vid strandängarna, och transporten av sediment från strandängarna till ålgräsängarna har därför inte bedömts vara av större vikt. Det finns flera platser där resuspension sannolikt startar tidigare (vid mer måttliga väderförhållanden) och även omfattar större bottenyta.

#### **4.4 Dimensioneringsunderlag**

*Vilka väderhändelser bör skydden kunna klara av?*

Den vågmodellering som utförts visar på att vågdämpningen i grundområdet är mycket stor, och våghöjderna vid de tilltänkta slystaketen uppgår endast till ett par centimeter. Vågmodelleringen utfördes med ett måttligt vattenstånd och en våghöjd av 50 cm.

Vid mer extrema händelser, där vattenståndet är högt samtidigt som vågorna är höga, kan lasterna på staketen dock komma att öka. En analys av vågklimatet visar att våghöjderna i den yttre delen av viken mycket sällan överstiger 0,8 meter (se figur 4). Baserat på bottendjup och vågdämpningen i grundområdena bedöms våghöjden vid slystaketen under en extrem händelse kunna uppgå till höjder uppemot 0,2 meter.

Strömhastigheterna i staketens närområde är generellt mycket låga, med en maximal modellerad strömhastighet (dygnsmedel) på 25 mm/s under den simulerade perioden, se figur 21. Under extrema tillfällen eller korta toppar kan strömhastigheten vara högre men lasterna från strömmande vatten är fortfarande mycket låg.

Ett välkänt problem med slystaket i kustområden är att tång och alger som slits loss under stormar kan fastna i staketen och leda till att

staketens permeabilitet förändras. Under vinterperioder kan även isbildning leda till ökade laster. Den största enskilda påverkan bedöms dock vara från vinden och staketens höjd bör vara relativt låg för att undvika skador till följd av vind. Sammanfattningsvis bör en hög permeabilitet och låg höjd av staketen kunna minska risken för att de skadas.

## 5 Referenser

- CHC. (2006). PSsed4.3 - A Langrarian Sediment Transport Model .  
Ottawa: Canadian Hydraulics Center.
- Hsiao, S., & Shemdin, H. (1978). BOTTOM DISSIPATION IN FINITE-DEPTH  
WATER WAVES. Coastal Engineering, (ss. 434 - 448). Hamburg.
- Puttnam, J., & Johnson, J. (1949). The dissipation of wave energy by  
bottom friction.
- Soulsby, R., & Whitehouse, R. (1997). Threshold of Sediment Motion in  
Coastal. Proc. Pacific Coasts and Ports '97, (ss. 149-154).  
Christchurch.
- Swart, D. (1974). Offshore sediment transport and equilibrium beach  
profiles. Delft Hydraul. Lab. Publ. 131.
- Sweco. (2023). Hydrodynamisk modellering av vågor och strömmar.
- van Rijn, L., & Wijnberg, K. (1996). One-dimensional modelling of  
individual waves and wave-induced longshore currents in the surf  
zone. Coastal Engineering 28, (ss. 121 - 145).