

Datum: 2010-11-30

Länsstyrelsen Gotlands län

## Förstudie kring miljöeffekter av modifiering av en vägbank i Slite skärgård



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förstudie kring miljöeffekter av modifiering av en vägbank i Slite skärgård.....	1
Uppdraget .....	3
Sammanfattning rapportens innehåll och resultat.....	3
Bakgrund .....	4
Resultat .....	5
Förutsättningar för vattenomsättning i sundet .....	5
Jämförelse av miljöförhållanden innanför och utanför vägbanken.....	6
Provtagning och analys av sedimentkemiska parametrar .....	9
Nollalternativ och tre förslag på modifiering av vägbanken för att förbättra vattenomsättningen.....	12
Utvärdering av åtgärdsförslagen.....	15
Andra åtgärdsidéer.....	22
En analys av de eventuella tillstånd som krävs för åtgärderna .....	23
En kostnadsuppskattning av de alternativa åtgärderna .....	24
En beskrivning av förväntade miljökonsekvenser, inklusive strömningsförhållanden av de alternativ åtgärderna och av nollalternativet. ....	24
Bilagor .....	25

## Uppdraget

Länsstyrelsen Gotlands län har tagit initiativ till en förstudie kring miljöeffekter av modifiering av en vägbank i Slite skärgård baserat på översiktliga studier. Vectura Consulting AB har offererat ett basupplägg för uppdraget och fått uppdraget. Uppdraget har genomförts under perioden augusti tom november 2010.

## Sammanfattning rapportens innehåll och resultat

Vattenomsättningen och flöde genom sundet mellan fastlandet och Asunden påverkas inte bara av vägbanken utan även av de ringa djupen i område A, samt sannolikt även av det massiva växtbältet i sundet. Framförallt gäller detta i sundet väster om område A där djupare områden är helt igenväxta av nate. Föreslagna åtgärder i vägbanken, med längre brospann eller rivning av vägbank gör att flödet genom sundet kan ökas 2-3 gånger. Förutsättningarna för lokal omblandning och lokal cirkulation i sundet skulle förbättras genom det ökade flödet och även genom den ökade exponeringen för vågor som en hel eller delvis eliminering av vägbanken skulle ge. En ökad lokal omblandning och vågexponering innebär förändrade/förbättrade villkor för den marina miljön innanför vägbanken, med möjlighet till mer begränsad växtetablering, och möjlighet till förändrat sedimentologiskt förlopp.

De utredda åtgärderna har dock nästan ingen effekt på vattenomsättningen i sundet eller i Vägumeviken, vad gäller utbyte med omgivande östersjövatten. För att påtagligt förbättra vattenomsättningen krävs sannolikt även åtgärd av hela det uppgrundade sundet, såsom genom muddring. En sådan omfattande muddring skulle dock även innebära mycket stora kostnader och även en inte försumbar miljöpåverkan.

I denna begränsade studie har endast vind varit den drivande faktorn i strömningsmodelleringen. Det är möjligt att djupare analys av andra strömningsdrivande faktorer, såsom regional bakgrundsströmning, skulle förändra bilden av hur åtgärder i vägbanken påverkar vattenomsättningen och en djupare studie krävs för att närmare kunna utvärdera situationen i området.

Skillnaderna mellan undersökningsområdena A och B består främst i att:

- A är relativt skyddat för vågerosion av botten och strandzoner. Därav består också området till stor del av sandig/gyttjig botten som till stora delar är täckt med alger .
- B är exponerat för vågrörelser och det framgår tydligt av karaktärsdragen för ett sådant område. Karaktäristiska alger förekommer fastvuxna på stenar, öppna bottenytor utgörs av mindre rundslipade stenar och någon förekommer av grus.

De sedimentprover som tagits i undersökningsområde A har för Östersjön normal förekomst av analyserade ämnen. Detta till trots är det inte att rekommendera att det genomförs några åtgärder vare sig det gäller åtgärder på bro, vägbank eller ett muddringsföretag innan en utökad undersökning är genomförd. Detta eftersom antalet provpunkter är för få för att kunna säkerställa förekommande halter av analyserade ämnen.

## Bakgrund

På 1970-talet anlades en vägbank från fastlandet ut till ön Asunden vid Slite på östra Gotland. Anledningen var försvarets verksamheter på ön. Vägbanken har via en anlagd bro endast en smal öppning för genomströmning vilket sannolikt har lett till försämrade vattenomsättning jämfört med tidigare förhållanden. Den försämrade vattenomsättningen har troligtvis även resulterat i någon form av miljöpåverkan i den bildade avsnörda viken.

## Förutsättningar

Detta uppdrag har genomförts enligt Länsstyrelsens instruktion på en översiktlig nivå. Den översiktliga nivån som efterfrågades har inneburit begränsningar i inhämtande av underlag och fått följd effekter med avseende på hur långtgående analyser som kunnat genomföras. Detta har inte inneburit att undersökningens resultat inte är relevanta, men ansatsen i analyserna har begränsats i enlighet med det upplägg som redovisades i anbudet och föredrogs för Länsstyrelsen vid uppstartsmötet.

## Utgångspunkter

Undersökningsområdet i viken norr om Asunden och havsområdet strax öster om ön är en avgränsad del av det totala område som påverkar vattenföringen mellan Asunden och fastlandet.

Under fältundersökningen kunde det konstateras att undersökningsområde A väster om bron var betydligt grundare än vad som antagits med utgångspunkt från tillgängliga förhandsuppgifter i förfrågningsunderlag och aktuella sjökort.

Vid undersökningen av hur vattenföringen sker i undersökningsområdet har även angränsande områden studerats på grund av att det inte varit motiverat med den snäva avgränsning som undersökningsområdena inneburit. Därför förekommer det i rapporten en del översiktliga resultat avseende Vägumeviken fast den inte är föremål för denna förstudie.

I undersökningen har det framkommit faktorer som påverkar vattenföringen som är lokaliserade utanför det egentliga undersökningsområdet. Dessa faktorer redovisas i all korthet i förstudien.

## Resultat

Nedan redovisas de resultat som framkommit vid förstudien. Redovisningen följer i stort den disposition som använts i förfrågningsunderlaget avseende vad som skall ingå i redovisningen.

## Förutsättningar för vattenomsättning i sundet

Vattenomsättningen genom sundet mellan ön Asunden och fastlandet begränsas av ett flertal faktorer. Sundet är mycket grunt och stora delar har djupet 0,1-0,5 m, något djupare vid vägbron där det är ca 1 m, se figur 1. Det ringa djupet har troligtvis i sig en begränsande effekt på vattenutbytet genom sundet. I de västra delarna av sundet ligger dessutom ett mycket kompakt vegetationsbälte vilket sannolikt har ytterligare en begränsande inverkan på vattenomsättningen. Vägbanken utgör ett definitivt flödeshinder, men har en öppning om ca 15-20 m vid en vägbro som sammanbinder ön med vägbanken och fastlandet. Härigenom möjliggörs idag ett vattenutbyte med öppet hav i sydöst. Den vattenförande tvärsnittsarean under bron är vid medelvattenstånd i nuläget ca 15m<sup>2</sup>. Detta kan jämföras med att den vattenförande tvärsnittsarean vid inloppet till Vägumeviken, mellan hamnpiren och Asunden, är ca 6000 m<sup>2</sup>, det vill säga ca 400 gånger större. Detta storleksförhållande antyder att vattenströmningen genom sundet är av begränsad betydelse för själva Vägumeviken.



Figur 1. Djupskiss enligt fältmätningar och uppskattningar.

Vägbankskonstruktionen har förmodligen bidragit både direkt och indirekt till att begränsa vattenomsättningen i sundet. Vägbanken har medfört en direkt reducering av

den tillgängliga tvärsnittsarean för genomflöde genom sundet. Det är även sannolikt att vägbanken bidragit till lugnare strömningsförhållanden och mindre vågpåverkan, vilket givit en ökad sedimentation i sundet och därmed uppgrundning. Det kraftiga vegetationsbältet kan i sin tur vara en följd av uppgrundningen och minskade flödes hastigheter. De tre faktorerna vägbanken, uppgrundningen och vegetationsbältet är alla viktiga att ha med sig vid funderingar kring åtgärder för att öka vattenomsättningen. Det är inte självklart att åtgärdande av en enskild faktor, såsom modifiering av vägbanken, ger någon väsentlig förbättring av förutsättningarna för vattenomsättningen eftersom även övriga faktorer påverkar genomströmningen.

Vattenomsättningen i området kan påverkas av ett flertal olika parametrar såsom salt- och temperaturskillnader, vattenståndsvariationer över tid i Östersjön, eventuell regional bakgrundscirkulation och vindpåverkan. Det har inom ramen för denna studie inte funnits utrymme för någon jämförande beräkning av olika drivande faktorer, men med bakgrund av det lokala områdets och östra Gotlandskustens förutsättningar har vinden bedömts vara den viktigaste drivande faktorn till vattenströmningen i Vägumeviken och sundet.

## **Jämförelse av miljöförhållanden innanför och utanför vägbanken**

Nedan redovisas en beskrivning av områdets djupförhållanden, översiktlig kartering av makroalger och fauna samt en analys av de processer som påverkar områdenas respektive karaktär.

### **Metodik och genomförande**

Vid karteringen har i huvudsak två metoder använts. Vattenkikare och fridykning. All kartering har dokumenterats med hjälp av en undervattenskamera, Nikon coolpix. Vid djup mindre än 0,5 m, hela undersökningsområdet A, har vattenkikare använts gående. Djup större än 0,5m har fridykts och/eller karterats med vattenkikare från båt.

### **Allmän beskrivning av undersökningsområdet**

Undersökningsområdet har delats in i två delar, område A som består av det område som befinner sig väster om vägbanken och område B som befinner sig öster om vägbanken, se bild 1.



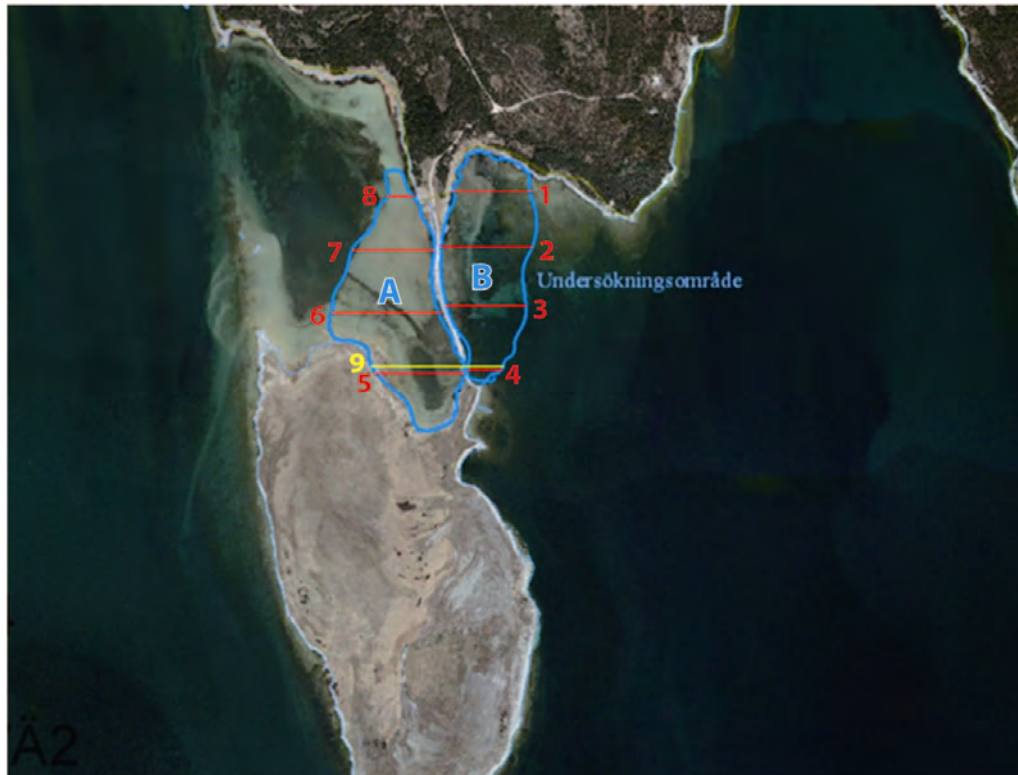


Bild 1. Bild över undersökningsområdet samt de transekter som karterades. De rödmarkerade transekterna sträcker sig på var sin sida om vägbanken medan den gulmarkerade transekten täcker båda sidor eftersom den är lagd under bron.

Vattendjupet i område A varierar mellan 0,1m -0,5m och bottensedimentet består av sand eller gyttja, se figur 1. Vattendjupet i område B varierar mellan 0,1m-3m och bottensedimentet växlar mellan sand, grus och block/sten.

## Transekter

Det totala antalet transekter som har karterats är 9 st där 4 st (nr 1-4) är placerade på östra sidan om vägbanken, 4 st (nr 5-8) på västra sidan samt en som sträcker sig från det västra undersökningsområdets gräns under bron till den östra gränsen, nr 9 (**bilaga 2**). De 4 transekter som finns på respektive sida om vägbanken är rödmarkerade och den transekt som sträcker sig mellan båda områdena är gulmarkerad.

## Makroalger, fauna och bottensubstrat

### Undersökningsområde A

Hela området är väldigt likartat förutom vid just bropassagen där vattenomsättningen är större och även så vågexponering. De största delarna täcks till 90 % av nateväxter (*Potamogetonaceae*) och kransalger (*Charophyceae*) (**bilaga 3**). Området är väldigt grunt och skyddat från öppna havet, vilket gör att sediment kan sedimentera relativt ostört och täcker växtligheten på många ställen. Nära bron domineras området av

nateväxter och vid brofästets stenar finns grönalger, framförallt tarmalg (*Enteromorpha intestinalis*). Bottensubstratet precis under bron och en bit omkring består av grus/sten och här växer främst grönalger och rödalger. Faunan i området bestod främst av olika snäckor (*Gastropoda*) och musslor (*Bivalvia*) som tusensnäckor (*Hydrobia ventrosa*), blåmussla (*Mytilus edulis*) och vanlig sandmussla (*Mya arenaria*).

## Undersökningsområde B

Detta område varierar kraftigt jämfört med område A. Växtligheten varierar växelvis med en täckningsgrad på 75 %. Växtligheten följer ett och samma mönster över hela området som kan delas in i tre delar, strandzonen, mellanzonen och ytterzonen (**bilaga 3**). Strandzonen domineras av grönalger som tarmalg (*Enteromorpha intestinalis*) och grönslick (*Cladophora glomerata*) som växer på stenarna som domineras bottensubstratet. Mellanzonen domineras av brun- och grönalger, men också mycket nateväxter, speciellt i det södra området. I mellanzonen finns en del blåstång (*Fucus vesiculosus*) som växer utan någon påväxt av fintrådiga alger. Bottensubstratet domineras av sten/grus, men vid transekt 1 och 2 finns en hel del sand. Ytterzonen domineras av rödalger som ligger på sandbotten som är det dominerande substratet. Vid transekt 2 finns i ytterzonen en mycket vacker bandtångskog (*Zostera marina*) som växer på sandbotten mellan stenblock. I området hittades ett stort urval av faunaarter som t.ex. mindre havsnål (*Nerophis ophidion*), piggvar (*Psetta maxima*), östersjöräka (*Palaemon adspersus*), mossdjur (*Bryozoa*), öronmanet (*Aurelia aurita*) och blåmussla (*Mytilus edulis*).

## Analys av skillnader i de processer som påverkar områdenas respektive karaktär

Vägbanken delar effektivt upp undersökningsområdena till en från vågerosion skyddad sida, område A och en från vågerosion exponerad sida, område B. I det grunda och skyddade vattnet i område A frodas mest kransalger (*Charophyceae*) och nateväxter (*Potamogetonaceae*) som är väl anpassade att växa i det sandiga/gyttjiga bottensubstratet. Speciellt kransalgerna behöver skyddet som vägbanken ger. I område B finns en mer varierad flora som är anpassad till det utsatta och vågexponerade läget. Arter som Tarmtång (*Enteromorpha intestinalis*), grönslick (*Cladophora glomerata*), blåstång (*Fucus vesiculosus*) och rödsleke (*Ceramium rubrum*) har här lätt att få fäste på den steniga botten trots det exponerade läget.



## Provtagning och analys av sedimentkemiska parametrar

Nedan redovisas provtagning och analys av sedimentprover från de tre provtagningspunkterna.

### Metodik och genomförande

Sedimentprov togs ut i tre koordinatbestämda punkter enligt förfrågningsunderlag i undersökningsområde A väster om bron. Då hela undersökningsområdet hade ett medeldjup av 0,15 m fanns ingen egentlig depositionsbotten att finna. Punkterna valdes ut med utgångspunkt från vad som kunde anses som "avsättningsområden" sett till hur det strömmade in genom broöppningen.

### Analysresultat och bedömning av föroreningsituation

Undersökningen kompletterades med analyser av total-kväve och fosfor i sedimenten. Ett missförstånd ledde till att analys av PCB och PAH utfördes som jordprover och inte som havssediment. Detta medförde en felaktig och för hög detektionsgräns. Sedimentproven analyserades då om. Kvarvarande provmängd från sedimentprovtagningen var dock inte tillräcklig för enskilda prover utan provmaterialet från de tre provpunkterna blandades till ett samlingsprov. Denna avvikelse har diskuterats med länsstyrelsens representant som har godkänt samlingsprovsförfarandet. Analysrapporterna återfinns i **bilaga 4a och 4b**.

Vid bedömningen och klassning av uppmätta halter av namngivna föroreningar har utgångspunkterna hämtats från Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, Kust och Hav NV rapp 4914, uppmätta halter vid nationell miljöövervakning SGU:s provstation SE-6 samt enda befintliga norska riktvärden för föroreningsnivå avseende tennorganiska föreningar.

Denna övergripande sedimentundersökning ger inte tillräckligt med information för att vara ett underlag inför muddring eller genomförande av utrivning, brobygge mm i undersökningsområdena.

Blir denna typ av aktiviteter aktuella måste en utökad sedimentundersökning genomföras om förekommande halter av analyserade ämnen skall kunna säkerställas.

Nedan redovisas resultat från analys av sediment från undersökningsområde A

## **Provpunkt 1 Wp 015**

### *PAH 16 och PCB*

Enligt ovan beskrivna omständigheter så utfördes ett samlingsprov från de tre provpunkterna för analys av PCB och PAH 16.

Resultatet från samlingsprovet ger att halterna av PAH 16 är låga (klass 2 enl. NV rapp 4914). Halterna av PCB är låga (klass 2 enl. NV rapp 4914).

### *Tennorganiska föreningar*

Halterna för samtliga analyserade tennorganiska föreningar ligger under detektionsgränsen för analysmetoden, dvs 1,0 µg/kg Ts.

Det finns ingen svensk bedömningsgrund för tennorganiska föreningar i sediment men det är bruklig att använda den norska bedömningsgrund som innebär att halter under 100 µg/kg Ts är att räkna som låga föroreningsnivåer.

### *Metaller*

Samtliga analyserade metaller utom kadmium ligger ungefär en tiopotens under halter för klass 1 (ingen/obetydlig avvikelse från jämförelsevärde för metaller i sediment tabell 34 och 37 i Naturvårdsverkets rapport 4914). Kadmium ligger precis på jämförelsevärde 0,2 mg/kg Ts. Sammanfattningsvis blir bedömningen att halterna av metallerna är låga i detta sedimentprov.

### *Näringsämnen*

Uppmätta halter av totalfosfor i sedimenten ligger i den nivå som man kan förvänta sig ifrån sediment från mellersta Östersjön (E Rydin Uppsala universitet).

Totalkvävehalten på 740 mg/kg Ts får anses som rimlig i sammanhanget.

## **Provpunkt 2 Wp 016**

### *PAH 16 och PCB*

Enligt ovan beskrivna omständigheter så utfördes ett samlingsprov från de tre provpunkterna för analys av PCB och PAH.

Resultatet från samlingsprovet ger att halterna av PAH 16 är låga (klass 2 enl. NV rapp 4914). Halterna av PCB är låga (klass 2 enl. NV rapp 4914).

### *Tennorganiska föreningar*

Halterna för samtliga analyserade tennorganiska föreningar ligger under detektionsgränsen för analysmetoden, dvs 1,0 µg/kg Ts.

Det finns ingen svensk bedömningsgrund för tennorganiska föreningar i sediment men det är bruklig att använda den norska bedömningsgrund som innebär att halter under 100 µg/kg Ts är att räkna som låga föroreningsnivåer.

## *Metaller*

Samtliga analyserade metaller ligger ungefär en tiopotens under halter för klass 1 (ingen/obetydlig avvikelse från jämförelsevärden för metaller i sediment tabell 34 och 37 i Naturvårdsverkets rapport 4914). Även i detta prov är resultatet för kadmium avvikande. Men i detta fall är det extremt låga halter som gäller < 0,090 mg/kg. Sammanfattningsvis blir bedömningen att halterna av metallerna är låga i detta sedimentprov.

## *Näringsämnen*

Uppmätta halter av totalfosfor i sedimenten ligger i den nivå som man kan förvänta sig ifrån sediment från mellersta Östersjön (E Rydin Uppsala universitet). Totalkvävehalten på 400 mg/kg Ts får anses som rimlig i sammanhanget.

## **Provpunkt 3 Wp 017**

### *PAH 16 och PCB*

Enligt ovan beskrivna omständigheter så utfördes ett samlingsprov från de tre provpunkterna för analys av PCB och PAH.

Resultatet från samlingsprovet ger att halterna av PAH 16 är låga (klass 2 enl. NV rapp 4914). Halterna av PCB är låga (klass 2 enl. NV rapp 4914).

## *Tennorganiska föreningar*

Halterna för samtliga analyserade tennorganiska föreningar ligger under detektionsgränsen för analysmetoden, dvs 1,0 µg/kg Ts.

Det finns ingen svensk bedömningsgrund för tennorganiska föreningar i sediment men det är brukligt att använda den norska bedömningsgrund som innebär att halter under 100 µg/kg Ts är att räkna som låga föroreningsnivåer.

## *Metaller*

Samtliga analyserade metaller ligger ungefär en tiopotens under halter för klass 1 (ingen/obetydlig avvikelse från jämförelsevärden för metaller i sediment tabell 34 och 37 i Naturvårdsverkets rapport 4914). Sammanfattningsvis blir bedömningen att halterna av metallerna är låga i detta sedimentprov.

## *Näringsämnen*

Uppmätta halter av totalfosfor i sedimenten ligger i den nivå som man kan förvänta sig ifrån sediment från mellersta Östersjön (E Rydin Uppsala universitet). Totalkvävehalten på 130 mg/kg Ts får anses som rimlig i sammanhanget.

## **Nollalternativ och tre förslag på modifiering av vägbanken för att förbättra vattenomsättningen**

I denna studie har beräkningar gjorts av tre förslag till förändringar vid vägbanken med syfte att förbättra vattenomsättningen i sundet.

### **0) Nollalternativet**

Nollalternativet innebär att vägbanken kvarstår som i nuläget och inga aktiva förändringar görs i undersökningsområdet. Situationen kvarstår då som i nuläget

### **1) Dubblering av brospannet.**

Längden på bron fördubblas vilket innebär att den vattenfyllda tvärsnittsarean under bron vid medelvattenstånd ökar från ca 15 m<sup>2</sup> till ca 30 m<sup>2</sup>, se figur 3.



*Figur 3. Åtgärdsförslag 1, dubblering av bro längden.*

## 2) Eliminering av hela den konstruerade vägbanken, se figur.

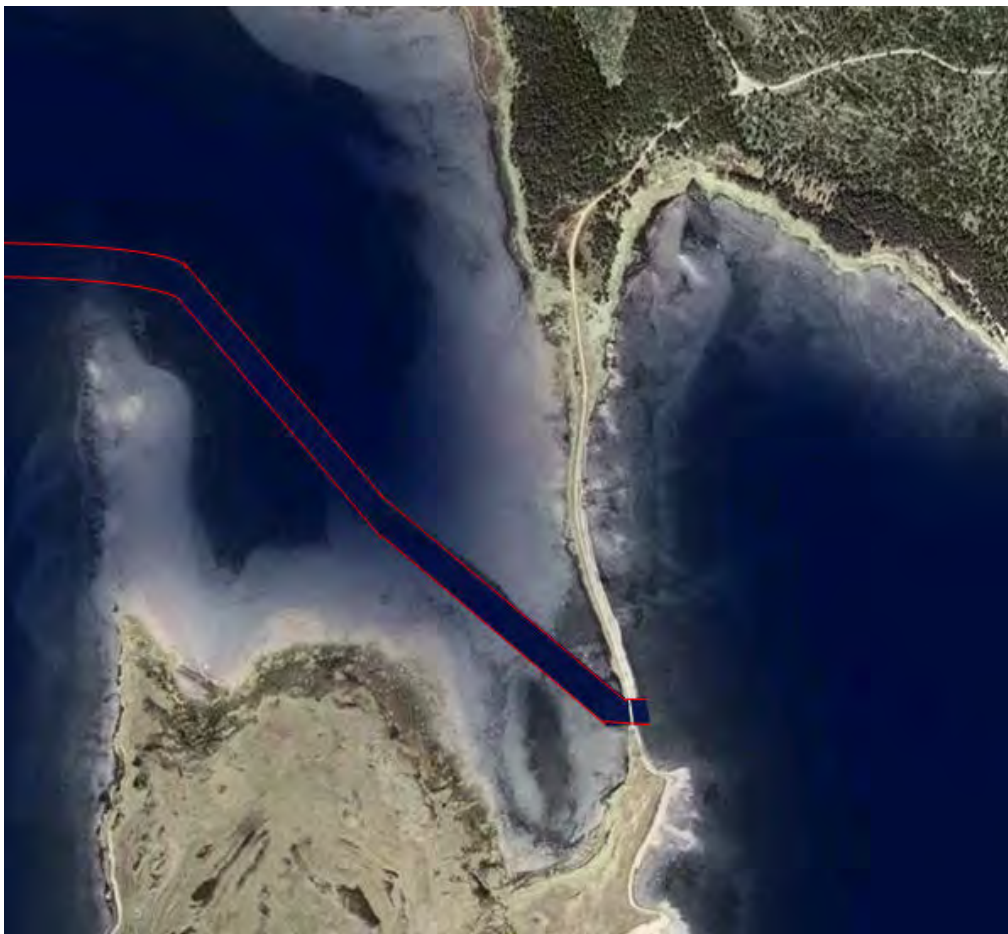
Hela den konstruerade delen av vägbanken tas bort vilket ger en öppning om ca 330 m, se figur 4. Den vattenförande tvärsnittsarean vid medelvattenflöde ökar då från ca 15 m<sup>2</sup> till ca 100 m<sup>2</sup>.



*Figur 4. Åtgärdsförslag 2, eliminering av den konstruerade delen av vägbanken.*

### 3) Dubblering av brospannet samt muddring av kanal genom sundet.

Bron förlängs enligt åtgärdsförslag 1 och därtill muddras en kanal under bron och genom sundet ut till Vägumeviken, se figur 5. Kanalen, samt öppningen vid bron, muddras till djupet 1,5 m och bredden 33 m. Den vattenförande tvärsnittsarean vid medelvattenflöde ökar då från ca 15 m<sup>2</sup> till ca 45 m<sup>2</sup>. Den vattenförande arean i sundet ökar också vid muddring av kanal och t ex 100 m väster om bron, ökar den från ca 50 m<sup>2</sup> till ca 80 m<sup>2</sup>. Muddringen omfattar en sträcka om ca 1300 m och ca 40 0000 - 50 000 m<sup>3</sup>.



Figur 5. Åtgärdsförslag 3, dubblering av brolängden och muddring av kanal med bredd 30 m och djup 1,5 m.



## Utvärdering av åtgärdsförslagen

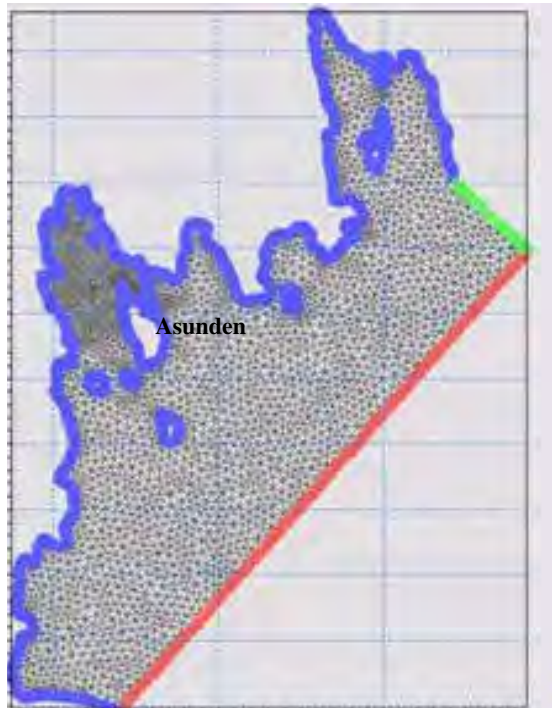
### Metodjämförelse av åtgärdsförslagets inverkan på vattenomsättningen

För att få en grov uppfattning om förutsättningarna för genomströmning kan man relatera till den vattenförande tvärsnittsarean i trånga sektioner i sundet. Denna kan även jämföras med andra begränsande sektioner. Tvärsnittsarean har därför beräknats för nuläget samt de olika åtgärdsförslagen.

Vidare har jämförelse gjorts av åtgärdsförslagets effekt på vattenomsättningen genom att med en flödesmodell studera framförallt två faktorer: flödet förbi vägbanken samt vattnets relativa ålder. I samarbete med Dansk Hydrologisk Institut (DHI) har en tvådimensionell strömningsmodell ställts upp i programmet Mike 21FM och vattnets ålder har beräknats genom att koppla till en modul som heter ECOlab, se bilaga 1 (PM DHI). I modellen har flera förenklingar gjorts då det inte funnits utrymme för detaljberäkningar inom denna förstudie. Den enda drivande faktorn i modellen har varit vinden, vilket, som nämnts ovan, är en förenkling av verkligheten. Den uppsatta modellen är vertikalt integrerad, d.v.s. vertikala variationer försummas. Vattenutflöden från Gotlands inland har heller inte tagits med i beräkningarna. Inverkan av växtlighet har ej tagits med i flödesmodellen. Växtlighetens inverkan kan vara betydande, dock har alla alternativen haft samma förutsättningar i modellkörningarna, det vill säga ingen växtlighet, varför jämförelse av alternativen ändå är möjligt. Vid hamnen i Slite finns pirar ut i Vägumeviken. Dessa pirer har dock inte tagits med i flödesmodellens förenklade geometri.

Aktuell vindstatistik från Östergarnsholm har inhämtats från SMHI för perioden 2010-05-01 till 2010-09-01, d.v.s. en sommarperiod. Data över djupförhållanden har inhämtats från sjökort. För sundet och bron har dock djupdata inhämtats från fältmätningar/uppskattningar inom denna studie. Djupdata från sjökortet är mycket översiktlig.

Flödet genom vägbanken har beräknats både momentant och som ackumulerat flöde för den aktuella tidsperioden av vindstatistik. Vattenomsättningen har uppskattats utifrån beräkningar av vattnets relativa ålder vilket kan användas som ett mått på hur ofta vattnet byts ut i olika delar av området. Den relativa åldern på en viss plats beräknas som den genomsnittliga tiden sedan vattnet befann sig utanför en definierad rand kring området. Randen är i detta fall satt utanför Slitebukten, se figur 6.



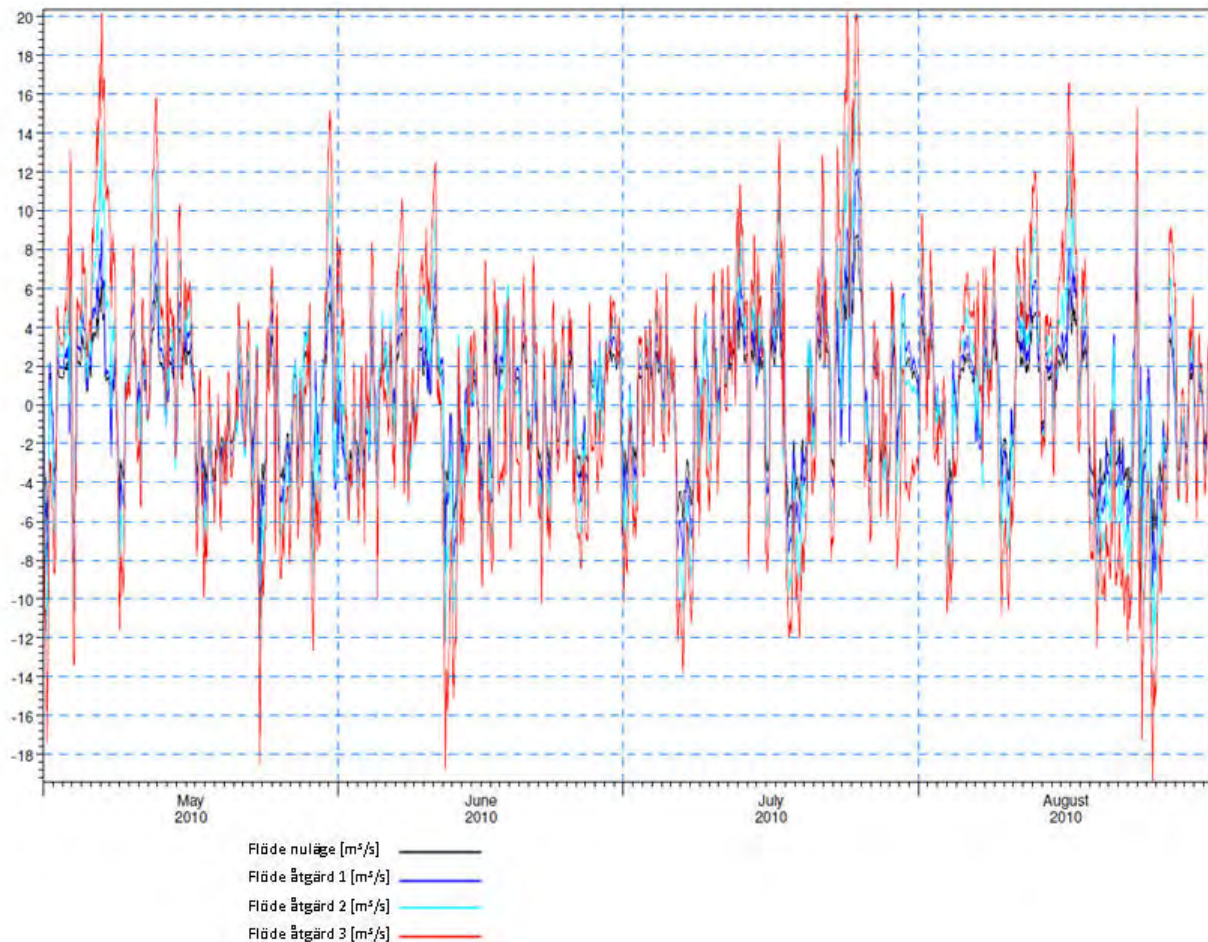
Figur 6. Randen till beräkningsområdet, grön och röd linje. Relativ ålder har beräknats som den genomsnittliga tiden sedan vattnet befann sig utanför randen.

## Resultat jämförelse av åtgärdsförslag

Grafer över den aktuella tidsperiodens flöde samt ackumulerat flöde ges i figur 7 och 8. Resultaten visar att flödet förbi vägbanken förbättras vid samtliga åtgärdsförslag jämfört med nuläget. Störst förbättring uppnås i åtgärdsförslag 3, dubblering av brolängden samt muddring av kanal. Storleksordningen på ökningen i flöde jämfört med nuläget, efter en tidsperiod av sammanhängande östlig eller västlig vind, är i storleksordningen:

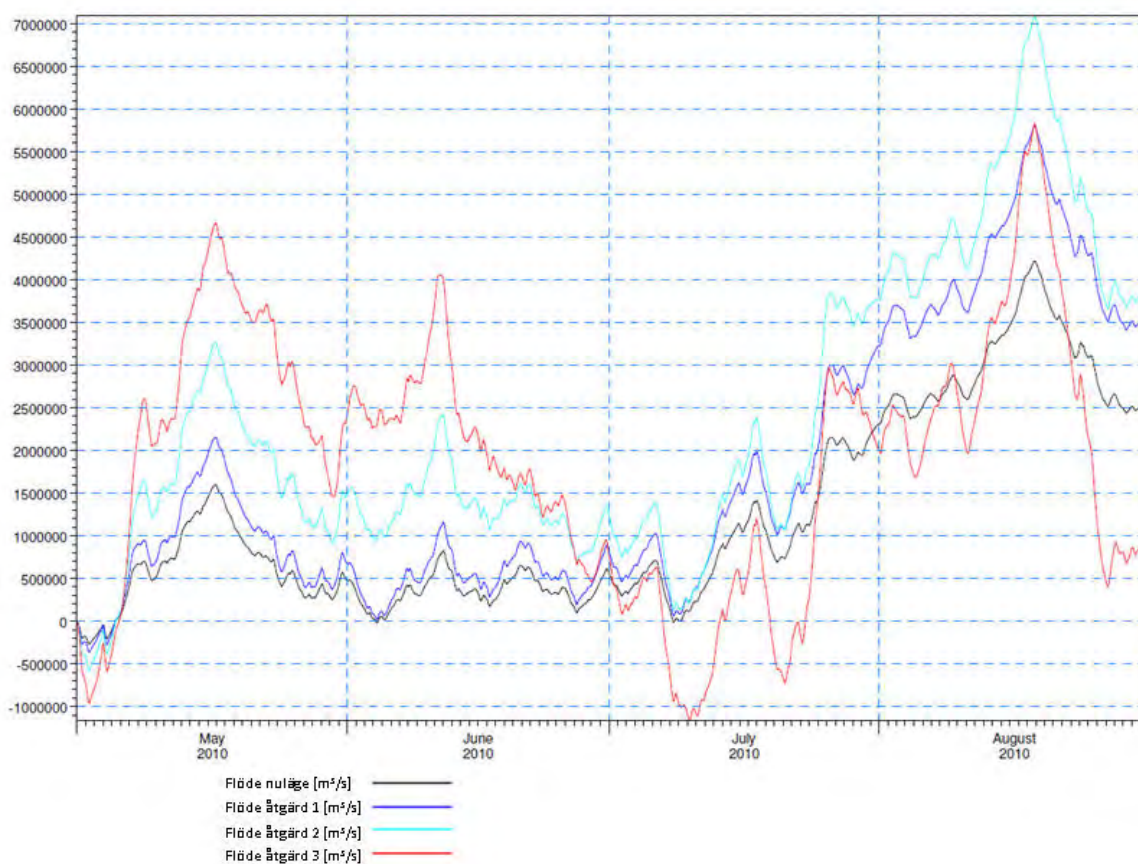
Åtgärdsförslag 1:	1,3 ggr
Åtgärdsförslag 2:	1,9 ggr
Åtgärdsförslag 3:	2,7 ggr

Den kumulativa grafen visar att den förhärskande strömningsriktningen, med vind som enda drivkraft, under vald sommartidsperiod var i västlig riktning för nuläge och åtgärdsförslagen. Vid åtgärdsförslag 3, som innefattar muddring, är det dock flödet i östlig riktning som ökar mest. De momentana flödena enligt de förenklade beräkningarna ligger i storleksordningen 0-20 m<sup>3</sup>/s, och mestadels i intervallet 0-5 m<sup>3</sup>/s.



**Figur 7. Modellerat flöde in i sundet förbi vägbanken för nuläget samt åtgärdsalternativen under perioden Maj-Augusti 2010. Positivt flöde innebär strömning i sundet mot Vägumeviken.**

Modelleringsresultaten, med vind som enda drivkraft, visar att strömningsriktningen varierar över tiden, som en följd av vindens variationer. Byte av strömningsriktning genom sundet under beräknad tidsperiod skedde vanligen någon gång per dygn, och ibland flera gånger per dygn. De täta bytena av strömningsriktning i kombination med det begränsade flödet innebär att det i stor utsträckning kan vara samma vatten som cirkulerar i sundet och Vägumeviken, utan utbyte med omgivande öppet vatten.

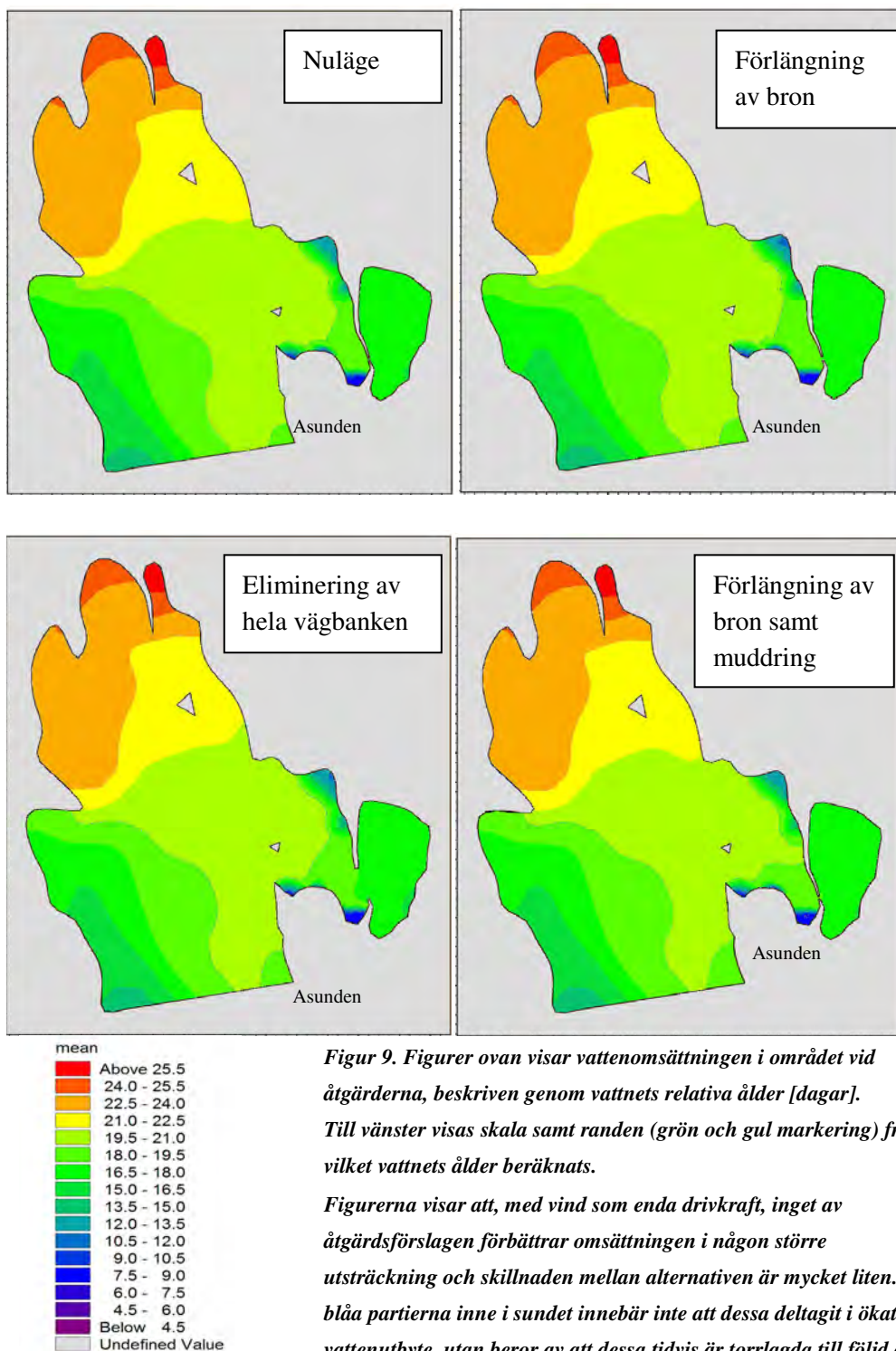


**Figur 8. Modellerat ackumulerat flöde in i sundet förbi vägbanken för nuläget samt åtgärdsalternativen under perioden Maj-Augusti 2010.**

För att få en uppfattning om vad de ökade flödena kan innebära för området är det därför viktigt att även titta på vattenomsättningen, vilket kan göras genom att beräkna vattnets relativa ålder inom området. Åldern definieras här som den genomsnittliga tiden sedan vattnet vistats utanför en bestämd gräns och är således ett relativt begrepp. Resultaten kan därför användas för jämförelse av åtgärdsalternativen, men eftersom den beräknade åldern är relativ är den inget meningsfullt värde i sig. Jämförelse av nuläget och åtgärdsalternativen beskrivs av figur 9.

Modelleringsresultaten av vattnets relativa ålder visar att ingen av åtgärderna medför någon betydande förbättring av vattenutbytet i sundet eller Vägumeviken jämfört med nuläget. Skillnaden mellan alternativen är mycket liten. Detta utesluter inte att den lokala cirkulationen kan öka i sundet.





*Figur 9. Figurer ovan visar vattenomsättningen i området vid åtgärderna, beskriven genom vattnets relativa ålder [dagar].*

*Till vänster visas skala samt randen (grön och gul markering) från vilket vattnets ålder beräknats.*

*Figurerna visar att, med vind som enda drivkraft, inget av åtgärdsförslagen förbättrar omsättningen i någon större utsträckning och skillnaden mellan alternativen är mycket liten. De blåa partierna inne i sundet innebär inte att dessa deltagit i ökat vattenutbyte, utan beror av att dessa tidvis är torrlagda till följd av variationer i vattennivå.*

## **Diskussion om åtgärdsförslagets inverkan på vattenströmning och vattenomsättning**

Inom projektramarna har åtgärder i vägbanken varit utgångspunkten, och fokus har därför legat här. Eftersom uppgrundningen och växtligheten påverkar förutsättningarna diskuteras dock även dessa.

Strömningsmodellen ger en mycket förenklad bild av verkligheten, men resultaten ger ändå en tydlig indikation om betydelsen av åtgärderna i vägbanken. De utredda åtgärdsalternativen, varav eliminering av vägbanken får ses som ett radikalt förslag, har med vind som drivkraft nästan ingen effekt på vattenutbytet i sundet eller i Vägumeviken. Med vattenutbyte menas här utbytet med vatten utanför Slitebukten enligt figur 6. Även om flödet vid åtgärdsförslag 3 och vissa vindförhållanden nästan tredubblas förbi vägbanken, så innebär det ingen påtaglig förbättring av vattenomsättningen i området. Det förhållandevis låga flödet i kombination med de täta bytena av strömningsriktning innebär att det i stor utsträckning kan vara samma vatten som cirkulerar i sundet och viken, utan utbyte med omgivande öppet vatten. En eliminering/minskning av vägbanken kan dock ge en ökad lokal omblandning i sundet till följd av ökat flöde och exponering för vågor. Detta kan innebära förändrade/förbättrade förutsättningar för marina miljön innanför sundet även om utbytet med vatten utanför Slitebukten inte påverkas speciellt mycket. En ökad lokal omblandning kan även indirekt påverka vattenutbytet genom att vegetationen får svårare att etablera sig och därmed kan flödesmotståndet genom sundet minska. En förändrad lokal cirkulation och vågexponering ger även förändrade sedimentologiska förlopp och möjlighet till förändrad batymetri i området.

Även storleksförhållandet mellan stora inloppet till Vägumeviken och sundet indikerar att vattenströmningen genom sundet är av begränsad betydelse för själva Vägumeviken, både i nuläget och med de föreslagna åtgärderna. Det är inte bara vägbanken utan även det grunda djupet i sundet som sätter begränsningen. För att strömningen genom sundet ska kunna ha en större påverkan på omsättningen i Vägumeviken krävs sannolikt stora åtgärder, såsom omfattande muddring av hela sundet ned till någon meters djup. Sundet är dock långt och en sådan omfattande muddring skulle innebära stora volymer, mycket stora kostnader och även en tydlig miljöpåverkan. Innan planering av omfattande åtgärder bör även en mer detaljerad strömningsanalys ha utförts för att noggrant kunna väga effekt mot kostnader.

Vid jämförelse av åtgärdsalternativen är ökad tvärsnittsarea en viktig faktor. Åtgärder i vägbanken kan göras på många olika sätt, förlängning av bro, extra trummor under vägbanken etc. Till viss del ger olika lösningar och placeringar av öppningar i vägbanken olika effekt åtminstone lokalt i sundet, till exempel varierar strömningsförluster mellan broöppningar och trumkonstruktioner. En jämförelse av



ökad tillgänglig tvärsnittsarea ger ändå en bra indikation på möjligheten till förbättrad omsättning oavsett detaljutformning. Den exakta åtgärden av vägbanken är i detta sammanhang mindre intressant eftersom resultaten visar att enbart åtgärd i vägbanken ändå inte har möjlighet att påtagligt förbättra vattenomsättningen. Vad gäller förutsättningar för lokal omblandning i sundet genom exponering för vågor är dock en rivning/minskning av vägbanken central. Desto mer av sundet som exponeras för vågor, desto bättre förutsättningar för lokal omblandning. För att uppnå maximal vågexponering kan även den inre delen av vägbanken, som sannolikt även före vägens tillkomst utgjorde en barriär, schaktas bort.

Alternativet med breddning av bron samt muddring av kanal genom sundet är det undersökta åtgärdsförslag som ger störst effekt på flödet, trots att vattenförande tvärsnittsarean i höjd med vägbanken då är mindre än vid eliminering av hela vägbanken. Detta tyder också på att uppgrundningen påverkar strömningen, och att detta kan påverkas genom muddring.

Det massiva växtbältet i västra delarna av sundet förstärker sannolikt flödesmotståndet genom sundet ytterligare. Växtbältets utbredning kan dock variera en del över säsongen. En enkel åtgärd som sannolikt i någon mån skulle förbättra omsättningen är att rensa bort det massiva växtbältet. Detta kan vara en förhållandevis kostnadseffektiv åtgärd. Bortrensning i kombination med åtgärd av vägbanken kan ge en bestående effekt då förutsättningarna för återetablering av växtlighet förändras.

I flödesmodellen och flödesanalysen som det funnits utrymme för i denna förstudie har enbart vind varit drivande faktor, och flera parametrar har utelämnats. Om det finns en betydande regional bakgrundsströmning skulle detta sannolikt innebära att åtgärdsförslagen skulle ha en större inverkan på vattenomsättningen i området, eftersom vattnet då i större utsträckning skulle strömma i en och samma riktning. En mer detaljerad studie med djupare analys över drivande faktorer, och där även mer fokus läggs på Vägumeviken som helhet, skulle kunna tillföra mer kunskap om hur vattenomsättningen kan förbättras i området.

## Andra åtgärdsidéer

Det finns många olika sätt att göra förändringar vid vägbanken. Lösningar med trummor och rörbroar har diskuterats, men avfärdats på grund av ofördelaktiga höjdförhållanden vid botten kontra vägbank. Det finns även andra, mer innovativa sätt, att öka flödet genom banken. Två sådana beskrivs kortfattat nedan, men har inte utretts närmare. Förslagen har möjlighet att bidra till en ökad lokal cirkulation i sundet, men det är däremot tveksamt om de i realistisk skala skulle kunna påverka vattenutbytet i sundet och Vägumeviken i påtaglig utsträckning.

## Pumpmodellen

Detta förslag bygger på en variant av syreverket som är O<sub>2</sub>-gruppens<sup>1</sup> konstruktion för att pumpa havsvatten till bottnar med låg syrehalt. Denna konstruktion skulle kunna anpassas och installeras i de två öppningarna under bron.

Syreverket är en konstruktion som använder vågrörelser som slår över en lutande barriär och väller ned i ett tråg som har en nivå som är högre även havsytans medelvattennivå. Då skapas ett tryck mot trågets väggar som är tillräckligt för att vatten skall kunna pumpas ut i den riktning som önskas.

## ”Väderkvarnspumpen” modell Holländska vattenkvarnar

Detta kultur- och miljöinriktade förslag utgår från att använda vindkraft för att pumpa havsvatten från vägbankens östra sida genom vägbanken och ha utsläppspunkter med strömningskanaler i den grunda viken väster om vägbanken. Detta förslag kan även kombineras med en anpassad muddring av grundområdet väster om vägbanken.

Tanken är att uppföra tre nedskalade modeller av gotländska väderkvarnar längs med vägbanken för att driva pumpar som pumpar in vatten genom vägbanken och över grundområdet och genererar en vattenströmning i riktning mot Vägumeviken.

De tekniklösningar för själva pumpandet som diskuterats i all korthet är att:

– väderkvarnen driver ett konventionellt vattenhjul enligt gammal modell och att vattenhjulet pumpar havsvattnet genom en kanal i vägbanken som är kulverterad under vägen,

– väderkvarnen driver mekaniskt en skovelpump som pumpar havsvattnet genom en kanal i vägbanken som är kulverterad under vägen,

---

<sup>1</sup> O<sub>2</sub>-gruppens nås via <http://o2gruppen.se/> där detaljerad information om konstruktionen finns att tillgå.

- väderkvarnen driver en generator som genererar ström som driver en elmotor som pumpar havsvattnet genom en kanal i vägbanken som är kulverterad under vägen.

För att havsvatten inte skall "läcka ut" genom bron krävs en fast barriär under bron som är i höjd med medelvattennivån. Denna fasta konstruktion förhindrar dock vattenströmningen som tidvis sker med västliga vindar och som genererar en vattenströmning från grundområdet och ut genom broöppningen i en östlig riktning. Denna vattenströmning är av relativt liten vikt jämfört med inströmning av havsvatten som kan genereras av östliga vindar. Ett annat faktum att reflektera över är att de väderkvarnsdrivna pumparna kan pumpa havsvatten oavsett vindriktningen.

För denna typ av projekt borde det vara möjligt att skaffa intressenter för denna typ av miljö- och kulturinriktade teknikutveckling. Det borde även vara möjligt att få medel för finansiering ur både nationella och Europeiska fonder mm. Det är också ett förslag med möjlighet till positiv påverkan på lokalt företagande och uppbyggnad av teknikinriktade företag.

## **En analys av de eventuella tillstånd som krävs för åtgärderna**

För arbeten i vatten krävs sannolikt tillstånd till vattenverksamhet (MB 11 kap.) i Miljödomstolen. Sökande är verksamhetsutövaren, det vill säga den som äger vägbanken med bro. Samtliga föreslagna åtgärder kan komma att behöva prövas i Miljödomstolen. Om konsekvenserna av åtgärderna är begränsade kan alternativt vattenverksamheten prövas av länsstyrelsen genom en anmälan.

Det är inte undersökt om den befintliga bank och bro, som byggdes av militären på 1970-talet, är prövad i Vattendomstolen. Om anläggningen är utförd utan vattendom kan det bli aktuellt med en lagligförklaring som kan hanteras samtidigt med tillståndet till vattenverksamhet.

Eventuella muddermassor kan behöva lämnas på en godkänd deponi. Om massorna innehåller föroreningar kan de i erforderlig omfattning behöva lämnas till en godkänd mottagare.

Eventuellt kan det komma att krävas dispens från strandskyddet.

Frågan om behovet av olika tillstånd för verksamheten tas upp i samråd med länsstyrelsen och kommunens miljönämnd.

## En kostnadsuppskattning av de alternativa åtgärderna

### Kostnader metod 1

Det mest ekonomiskt fördelaktiga alternativet är att den gamla bron rivs och ny bro med dubbla brospannet anläggs. Kostnaderna för detta är kalkylerade till cirka **6,3** miljoner kronor inkluderande för- och efterarbete vid utrivning av gamla bron.

### Kostnader metod 2

Förslaget att ta bort hela vägbanken och bron har en kalkylerad kostnad på cirka **16,7** miljoner kronor inkluderande förarbeten och efterarbeten.

### Kostnader metod 3

Kostnaderna för dubblering av brospannet är de samma som för alternativ 1 dvs cirka 6,3 miljoner kronor. Muddring av kanal enligt åtgärdsförslaget beräknas kosta ca 6,5 miljoner kronor. Kostnaden baseras på en kostnad om 130:-/m<sup>3</sup> samt andra tillkommande kostnader såsom etablering. Totalt blir kostnaderna för alternativ 3 cirka **12,8** miljoner kronor.

## En beskrivning av förväntade miljökonsekvenser, inklusive strömningsförhållanden av de alternativa åtgärderna och av nollalternativet.

I samtliga fall som genomströmningen av havsvatten ökas genom undersökningsviken kommer den för vågerosion skyddade miljön att minska i areell utbredning eller kanske helt försvinna.

Den grunda delen av undersökningsdelen är ett omtyckt rastställe för flyttande vadarfåglar och gäss. Vid genomförandet av fältundersökningen i augusti uppehöll sig hundratals gäss utmed de strandängar som finns vid den del av Asunden som utgör de södra delarna av område A. Denna rastplats kan om inte annat påverkas partiellt vid ökat flöde genom undersökningsviken och om vägbanken tas bort ändras helt.

I fråga om nollalternativet kommer de avsättningsprocesser som skett sedan 1970-talets mitt att fortsätta och grunda upp undersökningsviken undan för undan. Denna uppgrundning har stor effekt på hur stor genomströmningen av vatten kan bli och vilka uppehållstider som kan förväntas för vattnet i undersökningsviken. Vegetationen kommer successivt att etableras i allt större utsträckning i undersökningsviken då vågerosionen i den skyddade viken inte är tillräcklig att lösgöra vegetationen och flytta om bottenmaterialet av sand och gytta. Denna ökning av vegetationen kommer troligtvis att fortgå tills en konkurrensrelaterad jämviktssituation infinner sig. Detta på

grund av att det grunda vattnet kommer vara tillräckligt syresatt och tillgången på näringsämnen och växtplats kommer bli avgörande för tillväxten.

Vattenomsättningen och flödet genom sundet påverkas inte bara av vägbanken utan även av de grunda djupen, samt sannolikt även av det massiva växtbältet i sundet. Föreslagna åtgärder i vägbanken gör att flödet genom sundet kan ökas 2-3 gånger. Förutsättningarna för lokal omblandning och lokal cirkulation i sundet förbättras genom det ökade flödet och även genom den ökade exponeringen för vågor som en hel eller delvis eliminering av vägbanken skulle ge. Dock har åtgärderna nästan ingen effekt på vattenomsättningen i sundet och i Vägumeviken, vad gäller utbyte med omgivande östersjövatten. För att påtagligt förbättra vattenomsättningen krävs sannolikt även åtgärd av hela det uppgrundade sundet, såsom genom muddring. En omfattande muddring skulle dock även innebära mycket stora kostnader. En mer detaljerad flödes- och områdesanalys med fokus på hela Vägumeviken skulle kunna ge mer kunskap om hur man bör gå vidare för att förbättra vattenomsättningen i området. Det är möjligt att djupare analys av andra strömningsdrivande faktorer, såsom regional bakgrundsströmning, skulle förändra bilden av hur åtgärder i vägbanken påverkar vattenomsättningen.

## **Bilagor**

**Bilaga 1.** PM Dansk hydrologisk Institut

**Bilaga 2.** Transekt och sedimentprovtagningspositioner.

**Bilaga 3.** Bilder på de olika bottentyperna

**Bilaga 4.** Analysrapporter sedimentprovtagning