

RAPPORT

Hydraulisk modellering av genomströmning vid vägbankar

Utredning av påverkan från vägbankar vid Måksund, Lilla Askerön och Sundsby kile



Trafikverket

E-post: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921

Dokumenttitel: Hydraulisk modellering av genomströmning vid vägbankar – Utredning av påverkan från vägbankar vid Måksund, Lilla Askerön och Sundsby kile.

Beställare: Caroline Karlsson Trafikverket

Uppdragsledare: Johan Andersson EnviroPlanning AB

Projektledare: Ola Nordblom DHI

Kvalitetsansvarig: Martin Johansson DHI

Författare: Ola Nordblom DHI, Martin Johansson DHI, Rikard Olofsson DHI

Dokumentdatum: 2018-11-12

Version: 1

Innehåll

BAKGRUND	4
GENERELL METOD.....	4
SAMMANSTÄLLNING AV VÄGBANKSOBJEKT	6
VATTENSTÅNDSDATA	6
 Karakteristiska vattenstånd sommartid	6
VÄGBANK ÖVER MÅKSUND	7
 Beskrivning av vattenområde med vägbank.....	7
 Inmätningar	11
 Modellberäkningar.....	11
Hydraulisk modell.....	11
Kontroll av modellen	12
Stationär analys.....	13
Dynamisk analys	17
VÄGBANKAR ÖSTER OCH VÄSTER OM SUNDSBY KILE	18
 Beskrivning av vattenområdet med vägbankar	18
 Inmätningar	23
Väster om Sundsby kile	24
 Modellberäkningar.....	24
Hydraulisk modell.....	24
Kontroll av modellen	25
Stationär analys.....	27
Dynamisk analys	32
VÄGBANKAR ÖVER SUNDET ORUST – LILLA ASKERÖN.....	34
 Beskrivning av vattenområdet med vägbankar	34
 Inmätningar	38
 Modellberäkningar.....	38
Hydraulisk modell.....	38
Kontroll av modellen	39
Stationär analys.....	39
DISKUSSION OCH SLUTSATSER.....	42
REFERENSLISTA	44

Bakgrund

Trafikverket har genom ramavtal gett Enviroplanning och DHI i uppdrag att analysera lämpliga åtgärder för att förbättra vattengenomströmningen genom befintliga vägbankar på fem platser på västkusten. Resultaten utgör ett underlag till Trafikverkets analyser, bedömningar och prioriteringar för kommande åtgärder vid vägbankarna.

Kontaktpersoner från Trafikverket har varit Caroline Karlsson (projektledare) och Mats Lindqvist (miljöspecialist). Johan Andersson (projektledare, Enviroplanning) har samordnat projektet. Ola Nordblom (expert hydraulik, DHI) har gjort beräkningar och analyser, samt skrivit rapporten. Ola Nordblom, Martin Johnsson (expert Hydraulik, DHI), samt Rikard Olofsson (mätningenjör, DHI) har medverkat vid fältmätningar.

Följande områden ingår i uppdraget: Måksund, västra delen och mittendelen av sundet mellan Lilla Askerön och Orust, samt sunden öster och väster om Sundsby kile.

Frågan som har utretts för varje vägbanksobjekt är vilka åtgärder som behöver göras vid vägbanken för att förbättra vattengenomströmningen i de områden som vägbanken skär av. Exempel på åtgärder är rensning av igensatta trummor (kulvertar), byte av trummor mot större dimensioner eller fler parallella trummor, ändring av trummans läggningsdjup, samt muddring av botten i anslutning till trummor.

Underlaget till analysen består av allmänt kartmaterial (kustlinje, ortofoto och höjdmodell), tillgänglig djupdata enligt sjökort, samt data från inmätningar av befintliga trummor mm. i fält.

Alla nivåer i rapporten redovisas i höjdsystemet RH 2000. Förutom rapporten ingår data från fältmätningarna i shape-format i leveransen (höjdsystem: RH 2000, projektion: SWEREF 99TM).

Generell metod

Hydraulisk modellering och analys görs enligt Lindahls metodstudie från 2001 (/3/) och DHIs uppdrag för Länsstyrelsen 2017 (/2/). Metodiken går ut på att med hjälp av hydraulisk modellering beräkna i hur hög grad befintlig vägbank med trummor begränsar genomströmningen (vattenutbytet) i sundet eller flödet till och från viken, samt beräkna effekterna på genomströmningen av en ökad genomströmningsarea i vägbanken.

Enligt tidigare utredningar fokuserar analysen på de processer som driver vattenutbytet under kritiska (ogynnsamma) situationer sommartid med lågt vattenstånd och svag vind, då även problemen med syrebrist och alg tillväxt i grunda vikar och sund antas vara som störst. I sund är det normalt vattenståndsskillnaden över sundet, ofta orsakad av vindar, som driver vattentransporten. I vikar är det i första hand tidvattenvariationer som driver transporten in och ut ur viken i kritiska situationer.

Med föreslagen metod för analys av genomströmningen i sund beräknas hur stor del av den totala strömningsförlusten över sundet som uppstår vid strömningen genom kulverten eller trumman, och därmed i vilken grad denna begränsar genomströmningen. Beräkningen görs

för stationära förhållanden och en typisk vattenståndsskillnad över sundet. Med föreslagen metod för analys av strömningen till och från vikar beräknas i vilken grad vattenståndet i viken följer vattenståndsvariationer utanför viken under en viss tidsperiod, t.ex. en tidvattenperiod.

Analysen av varje vägbanksobjekt görs för två olika vattenstånd, medelvattenstånd och ett karakteristiskt lågvattenstånd under sommaren, baserat på stationsdata från SMHI. Beräkningar görs för dagens förhållanden vid vägbanken, samt för olika åtgärdsalternativ.

Beräkningarna görs med det endimensionella modellverktyget MIKE 11 (/4/). MIKE 11-modellen har utvecklats av DHI och är ett väl beprövat modellverktyg för simulering av flöden och vattenstånd i vattendrag, sjöar och grunda kustområden när strömningen kan betraktas som i huvudsak endimensionell i varje gren av modellen. Parallella flödesvägar, t.ex. i ett sund, kan simuleras genom att lägga in flera sammankopplade grenar i modellen. MIKE 11 motsvarar i grunden samma modelltyp (HEC2) som användes i metodstudien (/3/), dock klarar MIKE 11 av att simulera icke-stationära (dynamiska) förlopp.

MIKE 11-modeller sätts upp för respektive plats (sund eller vik) utifrån tillgängliga batymetriska data, i huvudsak från sjökort, samt inmätta data för befintliga trummor. Den hydrauliska kapaciteten för trummor beräknas med standardformler som finns inbyggda i MIKE 11. Individuella bedömningar görs för varje plats och trumma vid inställning av koefficienter för beräkning av friktionsförluster, samt in- och utströmningsförluster.

Sammanställning av vägbanksobjekt

visar en sammanställning av de undersökta vägbanksobjekten. Samtliga vägbanksobjekt korsar ett sund och begränsar därmed transporten genom sundet.

Nr	Platsnamn	Beskrivning av vägbanksobjekt och påverkansområde	Befintlig trumma eller bro, samt dimensioner
1	Måksund	Vägbank ca 130 m med befintlig bro över Måksund, påverkar vattenutbytet i Måksund och österut i sundet Galtö Lera om ca 150 ha	Brokulvert, öppningsbredd 8.6 m
2	Väster i Sundet Lilla Askerön – Orust	Vägbank ca 200 m med två befintliga trummor, begränsar vattenutbytet i västra delen av sundet mellan Lilla Askerön och Orust	2 cirkulära trummor, Ø 1.8 m
3	Mitten i Sundet Lilla Askerön – Orust	Vägbank utan trumma, stänger av vattentransporten genom mittendelen av sundet mellan Lilla Askerön och Orust	Saknas
4	Sundet öster om Sundsby kile	Vägbank 100 m med befintlig bro, begränsar vattenutbytet i Sundsby kile (35 ha) och österut mot Tjärtånge kile	Brokulvert, öppningsbredd ca 7.5 m vid medelvattenstånd
5	Sundet väster om Sundsby kile	Vägbank 25 m med befintlig bro, begränsar vattenutbytet i Sundsby kile (35 ha) och västerut mot Mjölkeviks kile	Brokulvert (rektangulär), öppningsbredd 2 m

Tabell 1. Sammanställning av undersökta vägbanksobjekt.

Vattenståndsdata

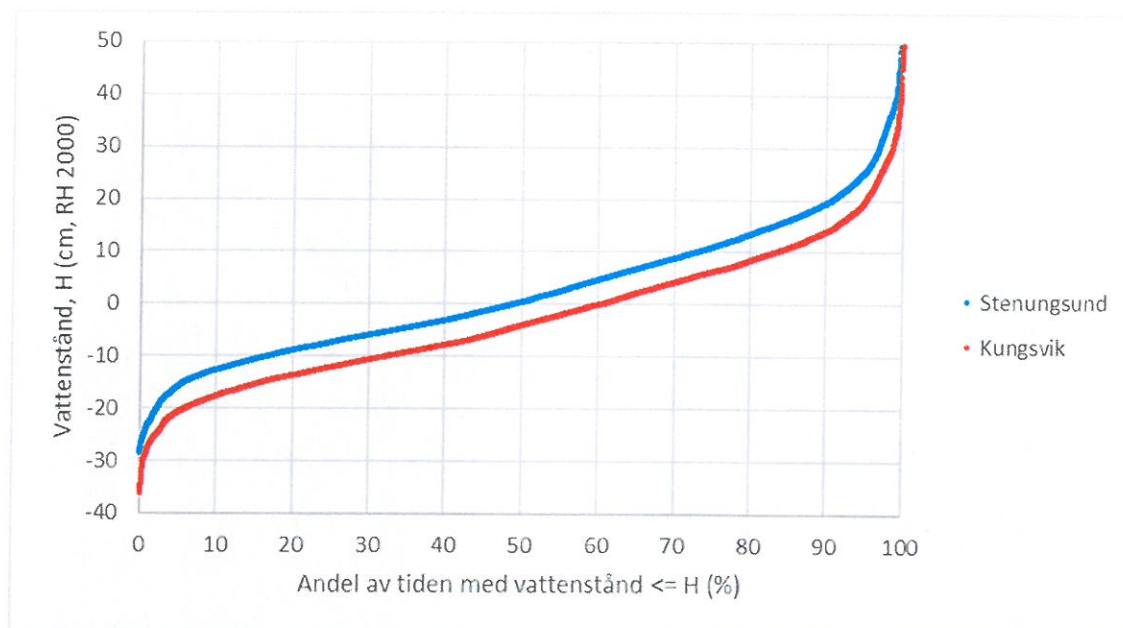
Karakteristiska vattenstånd sommartid

Figur 1 visar ett varaktighetsdiagram för havsvattenstånd från de två SMHI-stationerna Stenungsund (representerar områdena vid Lilla Askerön och Sundsby kile) och Kungsvik (representerar området vid Måksund) för sommarperioden juni-augusti de fem senaste åren. Ett glidande medelvärde över en tidvattenperiod (12 timmar) har använts för att filtrera bort tidvattensignalen i stationsdatan (timvärden).

visar 10-percentilen och 50-percentilen (medianen) från varaktighetsdiagrammet. Tabellen visar även motsvarande siffror för perioden juni-augusti 2018, samt enbart juli 2018, som exempel på fördelningen under en sommar med ovanligt lång högtrycksperiod.

I de hydrauliska beräkningarna som redovisas i följande avsnitt används 10-percentilen och medianen för perioden juni-augusti 2014-2018 för att simulera ett typiskt lågvattenstånd, respektive ett normalvattenstånd sommartid. En jämförelse med SMHIs beräknade

medelvattenstånd för stationerna visar att medianvärdena för den valda perioden ligger nära årsmedelvattenståndet för Stenungsund (-1.4 cm), respektive för Kungsvik (-4.6 cm).



Figur 1. Varaktighetsdiagram för havsvattenstånd vid Stenungsund och Kungsvik för perioden juni-augusti 2014-2018 baserat på filtrerad stationsdata.

Percentil	Period	Vattenstånd (cm, RH 2000)	
		Stenungsund	Kungsvik
10	juni-aug, 2014-2018	-13	-18
10	juni-aug, 2018	-14	-20
10	juli 2018	-14	-20
50 (median)	juni-aug, 2014-2018	0	-4
50 (median)	juni-aug, 2018	-5	-10
50 (median)	juli 2018	-7	-13

Tabell 2. Sammanställning av sommarvattenstånd, 10-percentil och 50-percentil (median), för Stenungsund och Kungsvik. Siffror i fet stil används i beräkningarna i respektive kustområde.

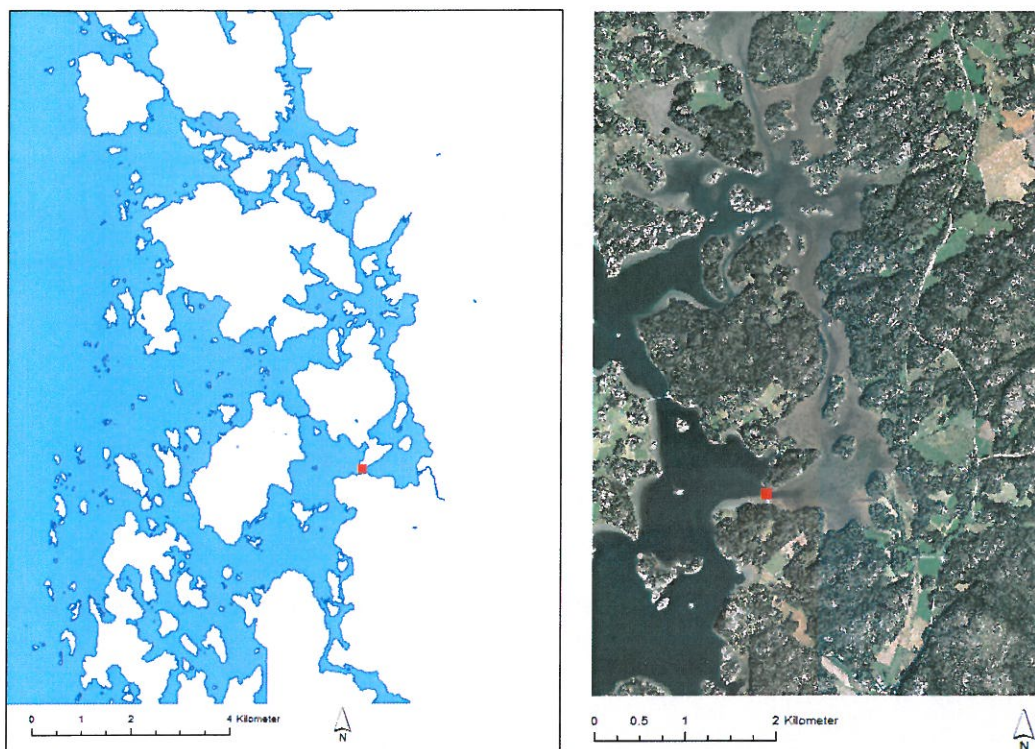
Vägbank över Måksund

Beskrivning av vattenområde med vägbank

Vägbanken korsar Måksund mellan fastlandet i söder och Galtö i norr. Vägbanken begränsar vattenutbytet i det ca 150 ha stora sundet Galtö Lera öster om vägbanken och Galtö. Sundet Galtö Lera är ca 3500 m långt, ca 500 m brett i den södra delen och 100-200 m brett i den norra delen. Vägbanken vid Måksund är ca 130 meter lång. I vägbanken finns en bro med en 8.6 m bred brokulvert med bottennivå ca 1.8 m under medelvattenstånd. Förutom vägbanken vid Måksund begränsas transporten genom Galtö Lera även av en ca 50 m bred passage i den norra delen av området där det tidigare har funnits en bro.

Vägbankens läge markeras på ortofotot i Figur 2. Den ljusare färgnyansen i ortofotot öster om Galtö visar att området är grunt. Den något mörkare längsgående rännan i mitten av

sundet tolkas som tecken på vattentransport och att det kan vara något djupare där. Djupet i Galtö Lera varierar uppskattningsvis mellan 0.25 m och 1-2 m vid medelvattenstånd. Väster om vägbanken vid Måksund och norr om Galtö finns förbindelser med djupare vattenområden med bättre omsättning.



Figur 2. Översikt över Måksund och Galtö Lera. Översikt (vänster) och ortofoto från 2016 (höger) erhållna från Trafikverket. Röd punkt markerar läget för vägbanken.

Bilder av vägbank med bro över Måksund som togs i samband med fältmätningarna 2018-05-29 visas i Figur 3 till Figur 6.



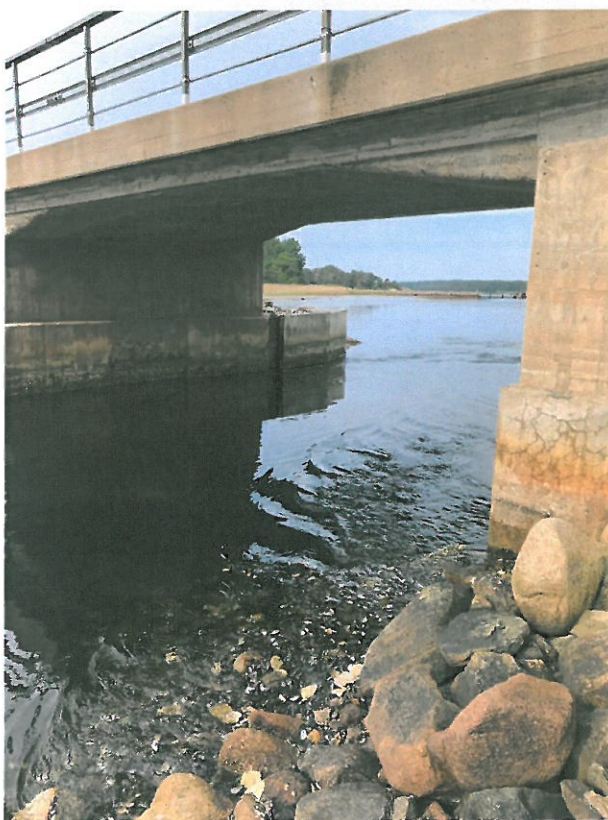
Figur 3. Galtö bro vid Måksund, bild tagen väster om bron, vy mot öster, 2018-05-29.



Figur 4. Galtö bro, bild tagen väster om bron, vy mot söder. Vattnet strömmar ut från området (västerut) i bilden, 2018-05-29.



Figur 5. Galtö bro, bild tagen öster om bron, vy mot söder. Vattnet strömmar ut från området (västerut) i bilden, 2018-05-29.



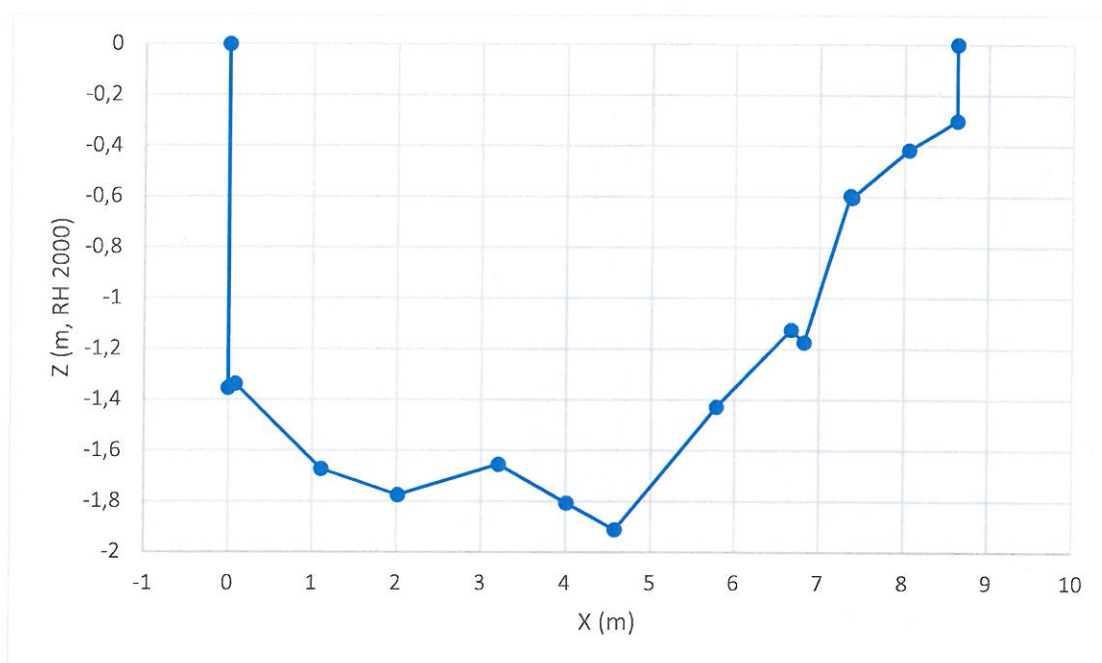
Figur 6. Galtö bro, bild tagen öster om bron, vy mot söder. Vattnet strömmar ut från området (västerut) i bilden, 2018-05-29.

Inmätningar

Inmätningar vid Måksund genomfördes 2018-05-29 mellan kl. 08.30 och 14.30. Fram till kl 13 strömmade vattnet ut från området (västerut), därefter började det strömma in mot Galtö Lera. Under fältbesöket var det i stort sett vindstilla.

Inmätningar av bottenprofilen gjordes både uppströms och nedströms vägbanken, samt i en sektion under brokulverten. Figur 7 visar bottenprofilen under bron, vilken utgör den minsta sektionen. Tvärsnittsarean vid medelvattenstånd är ca 10 m².

Stenar som har rasat ner öster om vägbanken på norra sidan blockerar en del av sektionen och ger en ojämn inströmning med kraftig virvelbildning längs ena sidan (se Figur 6).



Figur 7. Inmätt tvärsektion under bron vid Måksund. Den högra sidan av sektionen är mot norr.

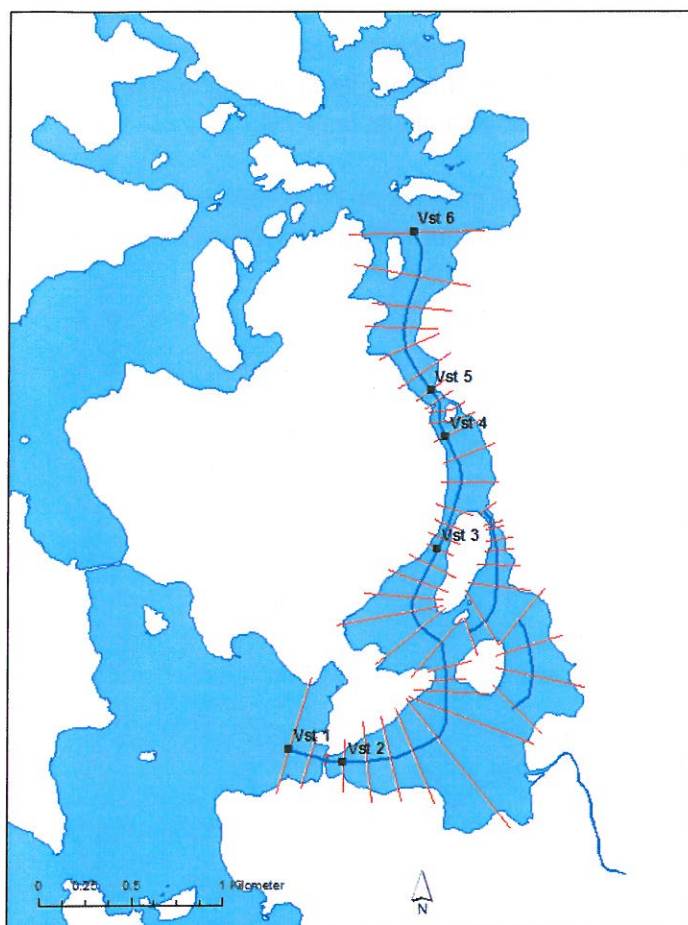
Mätningar gjordes även av vattenstånd och flödes hastighet för att kunna kontrollera beräknade flöden i modellen. Mätningarna visade att vattenståndet var -0.40 m utanför (väster om) vägbanken och -0.30 m innanför (öster om) vägbanken kl 11. Ström hastigheten genom kulverten uppmättes samtidigt i 10 punkter under bron. Den högsta uppmätta ström hastigheten var 1.3 m/s. Från denna data uppskattades flödet genom vägbanken till 8 m³/s.

Modellberäkningar

Hydraulisk modell

Den hydrauliska modellen omfattar vägbanken med bron över Måksund och hela det grunda området öster om Galtö (Galtö Lera) upp till norra änden av Galtö, se Figur 8. Modellen är uppsatt i DHIs endimensionella modellsystem MIKE 11 där flöde och vattennivå beräknas sektionsvis (röda streck) längs förutbestämda sammanlänkade flödesvägar (blå linjer). Förutom den trånga sektionen vid Måksund finns en trång sektion i den norra delen av sundet, mellan punkterna Vst 4 och Vst 5, där det tidigare har funnits en bro.

Bottenprofilen i varje tvärsektion har uppskattats utifrån sjökort och ortofoto. I de trånga sektionerna i den norra delen av sundet antas djupet vara 1-2 m vid medelvattenstånd. Vid vägbanken över Måksund har inmätta sektioner och brokulvertens geometri lagts in i modellen.

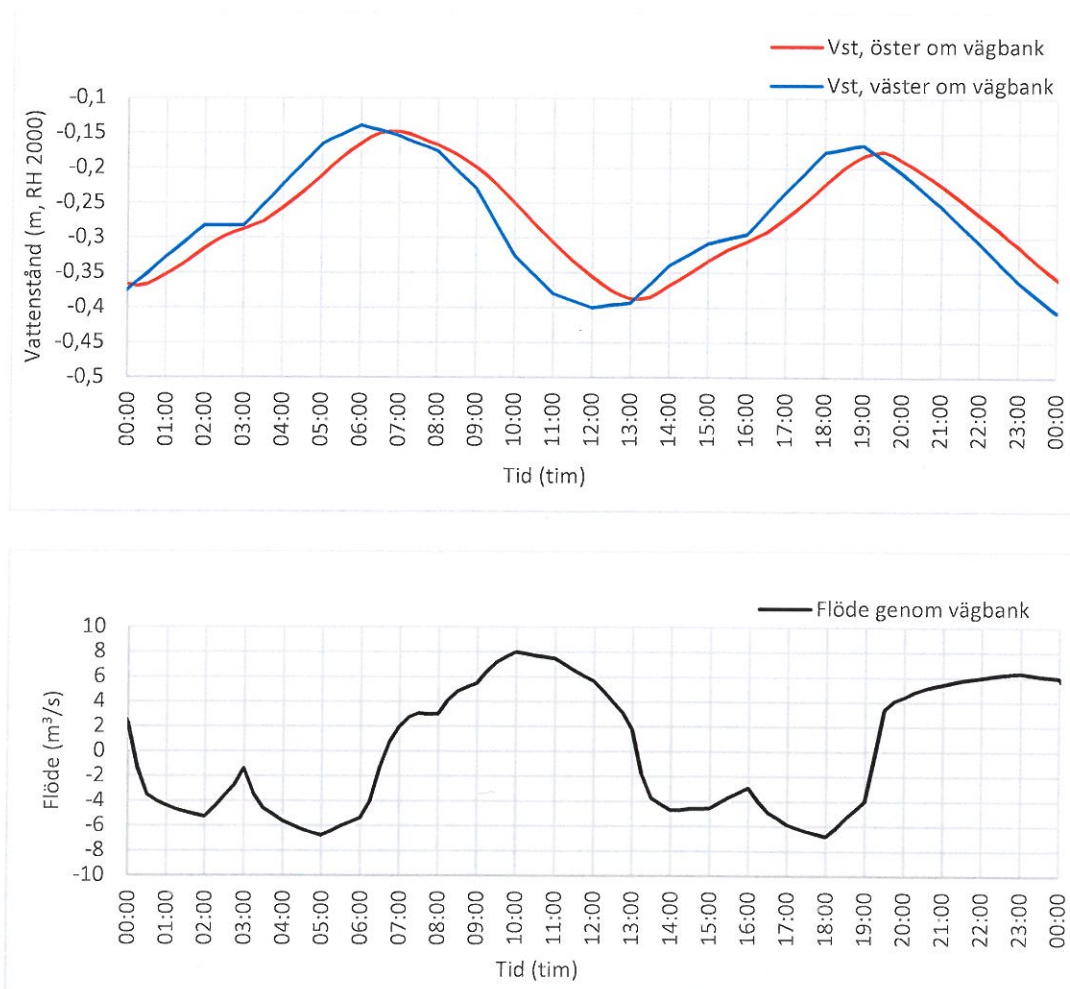


Figur 8. Modellområde och sektionsindelning för analys av vattentransporten genom Måksund och Galtö Lera. Vst 1-6 markerar punkter där vattenståndet redovisas.

Kontroll av modellen

Modellen har kontrollerats mot observationer som gjordes i samband med fältmätningarna vid Måksund 2018-05-29. Figur 9 visar resultat från modellering av vattenstånd och flöden vid vägbanken detta dygn. Vattenståndsdata för drivning av modellen har hämtats från SMHI-stationen Kungsvik. Vinden var vid detta tillfälle försumbar.

Resultaten överensstämmer väl med observerade vattenstånd öster om vägbanken (-0.30 m), väster om vägbanken (-0.40 m), samt uppskattat flöde ($8 \text{ m}^3/\text{s}$) kl. 11 på förmiddagen. Även tidpunkten då flödet vänder (kl 13) stämmer bra med observationerna i fält. Detta är ca 1 timme efter tidvattenvågens vändläge utanför sundet.



Figur 9. Beräknat vattenstånd i Galtö Lera öster om vägbanken tillsammans med ansatt vattenstånd från Kungsvik väster om vägbanken (ovan), samt flöde genom vägbanken (nedan) 2018-05-29.

Stationär analys

Beräkningar av flödet genom vägbanken och resten av sundet (Galtö Lera) har gjorts för en antagen konstant vattenståndsskillnad mellan sundets båda ändar på 0.10 m. Beräkningar har gjorts vid lågvattenstånd och medelvattenstånd. Beräkningarna är gjorda för stationära förhållanden (ingen variation med tiden) och syftar till att visa hur strömningsförlusterna fördelar sig längs sundet och hur stor betydelse arean hos öppningen i vägbanken har för den totala transporten genom sundet. Resultaten redovisas i Tabell 3.

Det kan noteras att ett beräknat genomflöde på 10 m³/s motsvarar en genomsnittlig uppehållstid på ca 1 dygn, baserat på en uppskattad vattenvolym i Galtö Lera på 1000 000 m³ (med antaget medeldjup på 0.75 m vid medelvattenstånd). Detta kan jämföras med en typisk varaktighet för en vindinducerad vattenståndsskillnad på 8-15 timmar (/3/) och innebär att ungefär hälften av volymen teoretiskt sett skulle hinnas bytas ut vid ett sådant tillfälle om flödeskapaciteten är 10 m³/s.

Förklaring till beteckningar i Tabell 3:

- Vst 1 och Vst 6 är vattenståndet i sundets båda ändar (randvillkor), medan Vst 2-5 är beräknade vattenstånd på olika platser i sundet (jfr. Figur 8).

- Resultaten är grupperade i A, B, C och D-serien efter ansatt vattenstånd i sundets ändar. A-serien motsvarar lågvattenstånd och B-serien medelvattenstånd, med lägst nivå i den södra änden (sydgående ström). C- och D-serien har lägst nivå i den norra änden (nordgående ström) och används för kontroll av flödeskapaciteten vid motsatt strömriktning.
- Beräkningar har gjorts för tre antagna vattendjup i den smalare delen av sundet öster om Galtö: 1 m, 1.5 m och 2 m (avser djupet vid medelvattenstånd). Fallen betecknas med *_1m, *_1.5m, respektive *_2m i tabellen.
- Fall A0 och B0 motsvarar dagens förhållanden med reducerad kulvertbredd för att kompensera för virvelbildningen som uppstår i befintlig kulvert längs ena sidan.
- Fall A1, B1, C1, D1 motsvarar dagens förhållanden med full kulvertbredd (8.6 m).
- Fall A2-8, B2-6, C3 och D3 visar olika kombinationer med sänkt botten och/eller ökad kulvertbredd

Fall	B_{kulv} (m)	Z_{kulv} (m)	A_{kulv} (m ²)	Vst 1 (cm)	Vst 2 (cm)	Vst 3 (cm)	Vst 4 (cm)	Vst 5 (cm)	Vst 6 (cm)	h_{kulv} (%)	Q (m ³ /s)
A0_1m	7.0	-1.8	9.0	-18.0	-13.2	-12.7	-11.0	-8.7	-8.0	48	7.3
A1_1m	8.6	-1.8	10.0	-18.0	-13.7	-13.2	-11.3	-8.8	-8.0	43	7.7
A2_1m	8.6	-2.5	15.1	-18.0	-15.9	-15.2	-12.5	-9.1	-8.0	21	8.9
A3_1m	12.0	-1.8	15.5	-18.0	-15.9	-15.2	-12.5	-9.1	-8.0	21	8.9
A4_1m	12.0	-2.5	23.0	-18.0	-17.1	-16.2	-13.1	-9.2	-8.0	9	9.4
A5_1m	15.0	-2.5	29.9	-18.0	-17.3	-16.4	-13.2	-9.2	-8.0	7	9.6
A6_1m	20.0	-2.5	41.3	-18.0	-17.6	-16.6	-13.3	-9.2	-8.0	4	9.7
B0_1m	7.0	-1.8	10.0	-4.0	+1.6	+1.9	+3.4	+5.3	+6.0	56	8.8
B1_1m	8.6	-1.8	11.2	-4.0	+1.0	+1.4	+3.1	+5.2	+6.0	50	9.4
B2_1m	8.6	-2.5	16.3	-4.0	-1.2	+0.6	+1.9	+4.9	+6.0	28	11.1
B3_1m	12.0	-1.8	17.2	-4.0	-1.4	-0.8	+1.8	+4.9	+6.0	26	11.3
B4_1m	12.0	-2.5	25.0	-4.0	-2.8	-2.1	+1.0	+4.7	+6.0	12	12.1
B5_1m	15.0	-2.5	32.0	-4.0	-3.2	-2.4	+0.8	+4.7	+6.0	8	12.4
B6_1m	20.0	-2.5	44.1	-4.0	-3.5	-2.7	+0.6	+4.7	+6.0	5	12.5
C1_1m	8.6	-1.8	10.6	-8.0	-11.8	-12.3	-14.3	-17.3	-18.0	38	7.6
C3_1m	12.0	-1.8	16.5	-8.0	-9.8	-10.5	-13.1	-17.1	-18.0	18	8.9
D1_1m	8.6	-1.8	11.7	+6.0	+1.5	+1.0	-0.8	-3.4	-4.0	45	9.4
D3_1m	12.0	-1.8	18.1	+6.0	+3.6	+3.0	+0.5	-3.2	-4.0	24	11.3
A1_1.5m	8.6	-1.8	10	-18	-12.1	-11.4	-10	-8.8	-8	59	9.1
A3_1.5m	12	-1.8	15.5	-18	-14.6	-13.4	-11.1	-9.2	-8	34	11.4
A5_1.5m	15	-2.5	29.9	-18	-17	-15.3	-12	-9.6	-8	10	13
A6_1.5m	20	-2.5	41.4	-18	-17.4	-15.5	-12.1	-9.6	-8	6	13.2
A1_2m	8.6	-1.8	10	-18	-9.9	-9.3	-9	-8.2	-8	81	10.6
A3_2m	12	-1.8	15.4	-18	-11.8	-10.3	-9.7	-8.3	-8	62	15.4
A4_2m	12	-2.5	22.9	-18	-14.2	-11.6	-10.6	-8.5	-8	38	19.7
A5_2m	15	-2.5	29.8	-18	-15.7	-12.4	-11.1	-8.7	-8	23	21.6
A8_2m	25	-1.8	36.4	-18	-16.4	-12.7	-11.4	-8.7	-8	16	22.4
A6_2m	20	-2.5	41.4	-18	-16.8	-12.9	-11.5	-8.7	-8	12	22.8
A7_2m	25	-2.5	52.9	-18	-17.1	-13.1	-11.7	-8.8	-8	9	23.1

Tabell 3. Beräknade flöden och nivåer för olika utformning av kulvert vid Måksund med 10 cm nivåskillnad över sundet. B_{kulv} = kulvertens bredd i vattenlinjen vid medelvattenstånd, Z_{kulv} = lägsta bottennivå i kulvert, h_{kulv} = kulvertens andel av totala strömningsförlusten genom sundet, A_{kulv} = aktiv genomströmningsarea i kulverten, Q = flöde genom kulverten och resten av sundet.

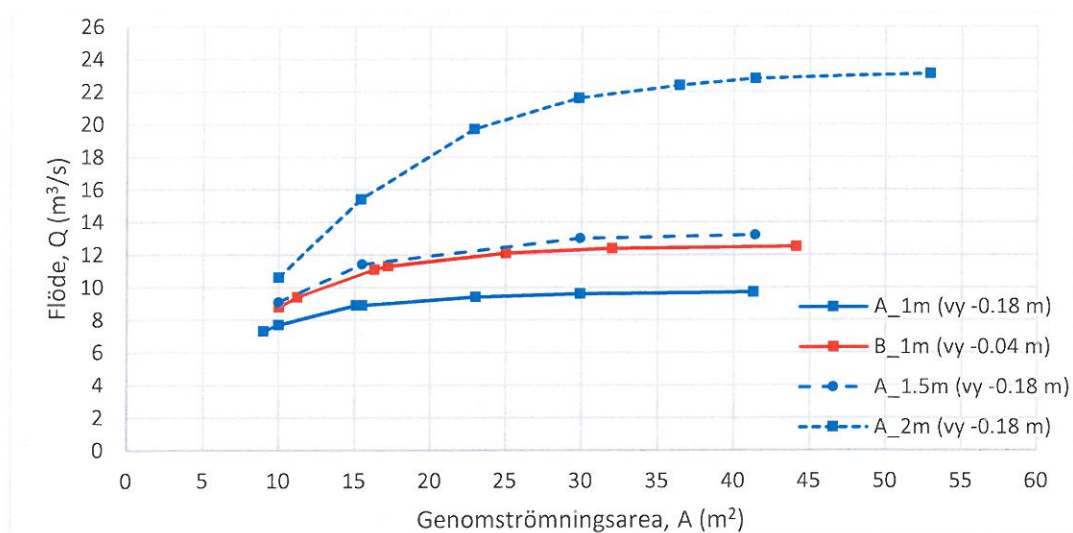
Beräknade flöden från Tabell 3 visas som funktion av kulvertens genomströmningsarea i Figur 10. I figuren har C- och D-serien utelämnats, eftersom de ger nästan samma resultat som A- och B-serien.

Vid medelvattenstånd (röd heldragen linje) blir flödeskapaciteten högre jämfört med vid lågvattenstånd (blå heldragen linje) för samma vattenståndsskillnad (10 cm) över sundet. Det beror på ökad genomströmningsarea och mindre strömningsförluster vid högre vattenstånd. Flödena vid lågvattenstånd är de mest kritiska och ligger därför till grund för slutsatserna i första hand.

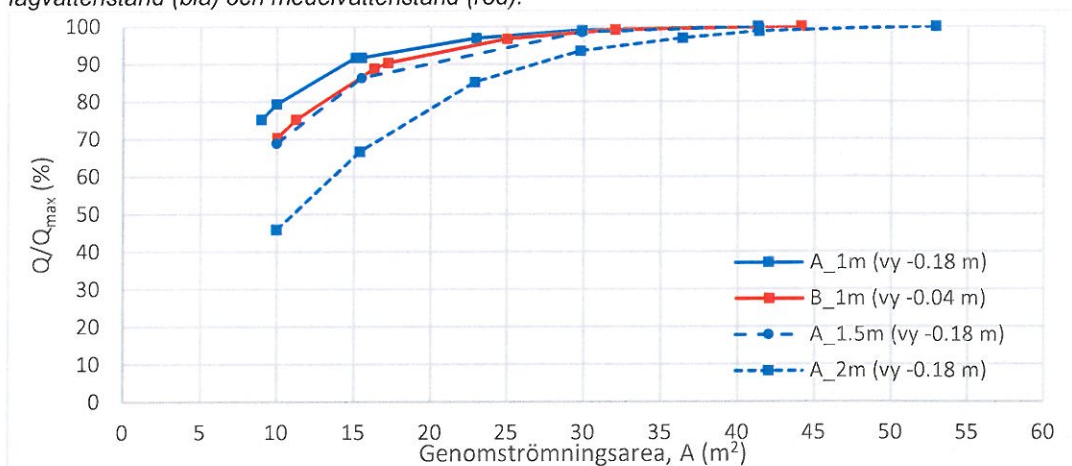
Figur 10 visar att flödet genom kulverten och resten av sundet ökar med ökad area i kulverten upp till en maximal flödeskapacitet (plana delen av kurvan) då kulverten inte längre är begränsande. I det läget bestäms flödeskapaciteten av strömningsförlusterna i den norra delen av sundet. Med olika antaganden om djupet i norra delen av sundet (1 m, 1.5 m och 2 m) kommer kurvorna att närma sig olika maxvärden. Figur 11 visar samma resultat som Figur 10, men uttryckt som procent av maxflödet.

Beräkningarna för lågvattenstånd visar att befintlig kulvertarea (10 m^2) ger en flödeskapacitet på $7\text{--}10 \text{ m}^3/\text{s}$, medan den maximala flödeskapaciteten då kulverten inte längre är begränsande ligger i intervallet $10\text{--}23 \text{ m}^3/\text{s}$, beroende på hur stort djupet är i norra delen av sundet. Med ökad genomströmningsarea i kulverten ökar flödeskapaciteten genom sundet från $40\text{--}75 \%$ av den möjliga kapaciteten med befintlig kulvert (10 m^2) till $85\text{--}95 \%$ av den möjliga kapaciteten med 2.5 gånger större kulvertarea (25 m^2). Ytterligare ökning av kulvertarean kommer inte att få så stor effekt på genomflödet i sundet.

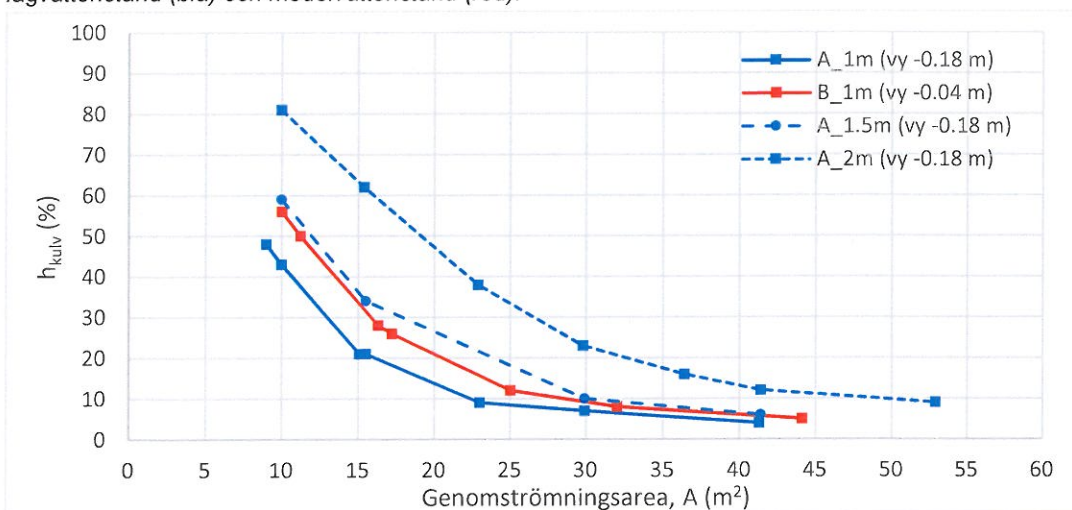
Figur 12 visar motsvarande beräknade strömningsförluster över kulverten i procent av totala strömningsförlusten genom hela sundet. Med ökad genomströmningsarea i kulverten minskar förlusterna över kulverten vid lågvattenstånd från $50\text{--}80 \%$ av totala förlusten med befintlig kulvert (10 m^2) till $10\text{--}30 \%$ av totala förlusten med 2.5 gånger större area (25 m^2). Den resterande delen av strömningsförlusten sker framförallt i det smala sundet i norra delen av Galtö Lera.



Figur 10. Beräknad flödeskapacitet som funktion av kulvertens genomströmningsarea vid lågvattenstånd (blå) och medelvattenstånd (röd).



Figur 11. Beräknad flödeskapacitet i procent av den maximala flödeskapaciteten i sundet vid lågvattenstånd (blå) och medelvattenstånd (röd).



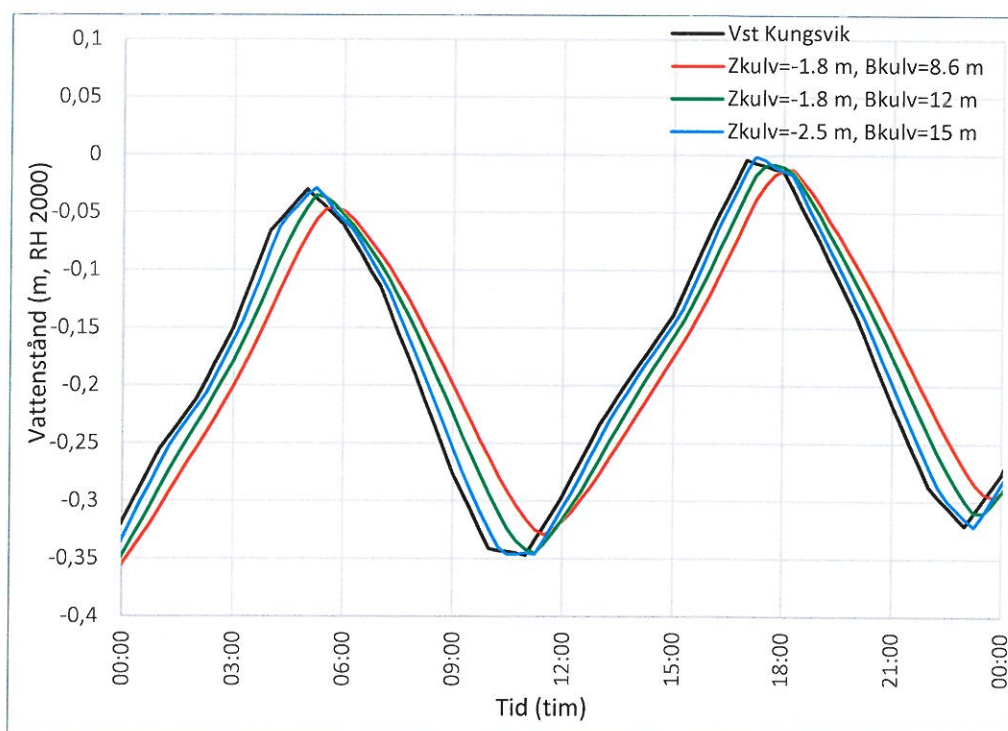
Figur 12. Beräknad strömningsförlust över kulverten i procent av den totala strömningsförlusten i sundet vid lågvattenstånd (blå) och medelvattenstånd (röd).

Dynamisk analys

Under högtryckssituationer kommer vattentransporten in- och ut ur sundet i första hand att styras av tidvattenrörelser. Tidvattenvågen kan antas ge upphov till samma vattenstånd i de djupare vattenområdena utanför Galtö Lera. Samma vattenstånd har därför ansatts i norra och södra ändpunkten i modellen. I denna analys kan man betrakta Galtö Lera som en vik med en nordlig och en västlig öppning mot omgivande djupare vattenområden. Vid stigande tidvatten pressas vatten in i Galtö Lera både vid Måksund och vid öppningen i den norra änden och vid sjunkande tidvatten pressas vatten ut ur Galtö Lera.

Figur 13 visar beräknade vattenstånd i mitten av Galtö Lera under ett dygn med lågvattenstånd tillsammans med ansatt vattenstånd utanför Galtö Lera enligt data från Kungsvik. I samtliga fall antas ett vattendjup vid medelvattenstånd på 1 m i den smalare delen av sundet öster om Galtö, vilket är det mest kritiska fallet med hänsyn till vattenomsättningen i Galtö Lera. Resultat redovisas för några olika kulvertdimensioner. Fallet $Z_{\text{kulv}} = -1.8$ m, $B_{\text{kulv}} = 8.6$ m motsvarar bottennivå och bredd för befintlig kulvert med en genomströmningsarea på ca 10 m². Fallet $Z_{\text{kulv}} = -1.8$ m, $B_{\text{kulv}} = 12$ m motsvarar 1.5 gånger större area (ca 15 m²) och fallet $Z_{\text{kulv}} = -2.5$ m, $B_{\text{kulv}} = 15$ m motsvarar 3 gånger större area (ca 30 m²).

Resultaten visar att vattenståndet inne i Galtö Lera följer vattenståndet utanför med små skillnader, men med en viss tidsförskjutning. För befintlig kulvert dämpas tidvattenrörelsen något så att skillnaden mellan högsta och lägsta vattenstånd under en tidvattenperiod minskar från ca 30 cm till ca 25 cm. Det betyder att den tidvattendrivna vattenomsättningen blir 80-90 % av den möjliga. I de andra fallen med ökad genomströmningsarea sammanfaller nästan vattenståndskurvorna innanför och utanför Galtö Lera, vilket betyder att man uppnår i princip fullt tidvattendrivet vattenutbyte.



Figur 13. Beräknade vattenstånd inne i Galtö Lera. Drivning med vattenståndsdata från Kungsvik 2018-07-12.

Vägbankar öster och väster om Sundsby kile

Beskrivning av vattenområdet med vägbankar

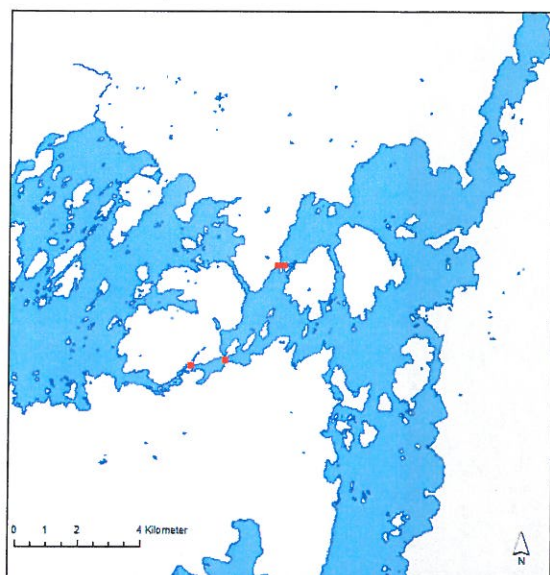
Vägbankar korsar Sundsby kile både på östra sidan vid väg 160 och på västra sidan vid väg 710. Sundsby kile är 1100 m långt, 150-400 m brett och har en yta på 35 ha. Vägbankarnas läge markeras på ortofotot i Figur 14. Den ljusare färgnyansen i ortofotot i stora delar av Sundsby kile och även i de inre delarna av Tjärtånge kile öster om väg 160 visar att området är grunt. Djupet i Sundsby kile varierar uppskattningsvis mellan 0.25 m i de grundare delarna och 1-2 m i de djupare delarna vid medelvattenstånd.

Vägbanken öster om Sundsby kile korsar sundet söder om Ängholmen. Via detta sund har Sundsby kile förbindelse med Tjärtånge kile och djupare vattenområden österut (Figur 14 och Figur 15). Vägbanken är ca 100 m lång och har en bro med en öppning där vatten kan strömma igenom. Sektionen under bron är 7.5 m bred, 1 m djup och har en genomströmningsarea på ca 5 m² vid medelvattenstånd (Figur 16). Öppningen under bron utgör den minsta sektionen i den 90 m långa kanal som har skapats av utfyllnaderna runt vägbanken. Vägbankens fortsättning norrut korsar den innersta delen av viken på norra sidan av Ängholmen. Den norra delen av vägbanken saknar idag öppningar.

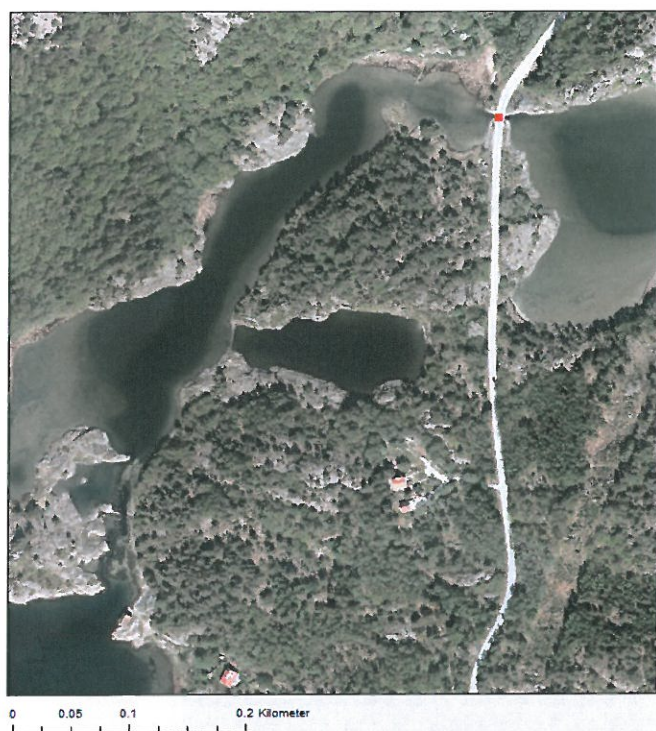
Den ekonomiska kartan från 1930-40-talet visar hur det såg ut innan vägen byggdes (/1/). Sundet söder om Ängholmen var ursprungligen omkring 60 m brett. Om man antar att vattendjupet var 1 m vid medelvattenstånd betyder det att genomströmningsarean ursprungligen var ca 10 gånger större än idag. Eventuellt fanns tidigare också en möjlighet för vattnet att passera norr om Ängholmen. Denna öppning var dock smalare (10-15 m) och bör även ha varit betydligt grundare och därför haft mindre betydelse för vattenutbytet i Sundsby kile. Den norra delen av vägbanken har av Trafikverket pekats ut som en möjlig framtida passage för vattnet efter en ev. ombyggnad av vägbanken.

Vägbanken väster om Sundsby kile är 20-30 meter lång och försedd med en kulvert där vatten kan strömma igenom (Figur 15). Kulvertöppningen är 2 m bred, ca 0.7 m djup och har en genomströmningsarea på ca 1.5 m² vid medelvattenstånd (Figur 18). Enstaka större stenar på botten blockerar en del av tvärsnittsytan i ena änden av kulverten (Figur 19). Förbindelsen västerut sker via Svanvik till djupare vattenområden med bättre omsättning i Mjölkeviks kile och vidare ut mot Stigfjorden. Från vägbanken och 100 m västerut är det mycket grunt. Väster om vägbanken skjuter en udde ut och här finns även rester av en stenmur som går ner mot vattnet. Muren utgör ingen begränsning för transporten i sundet. Däremot är det mycket grunt på en sträcka av 100 m väster om vägbanken, vilket har betydelse vid låga vattenstånd (Figur 20). Begränsningar för vattentransporten finns även i den grunda och delvis smala förbindelsen mellan Svanvik och Mjölkeviks kile.

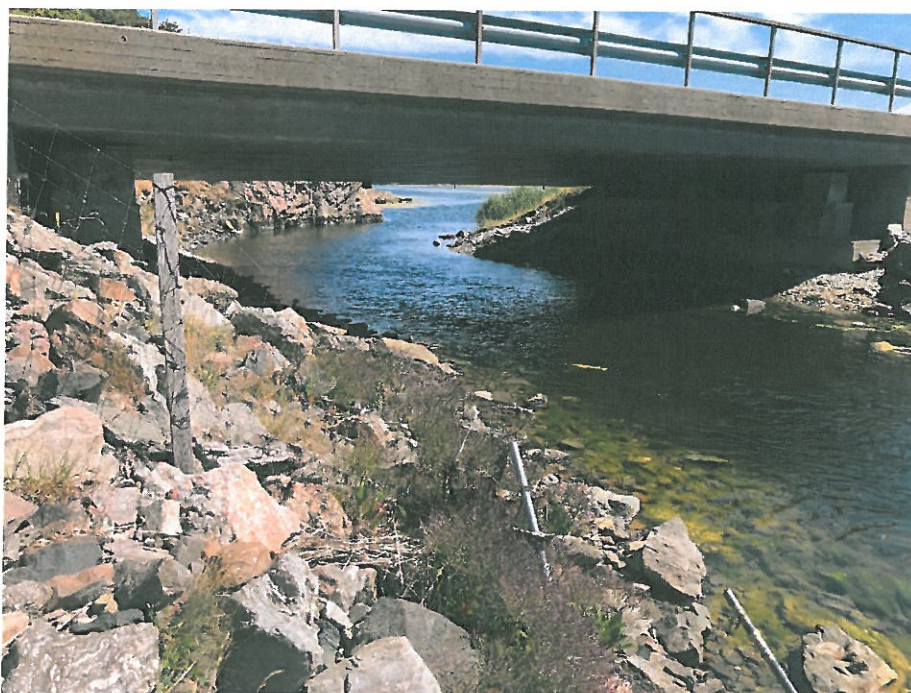
Den ekonomiska kartan från 1930-40-talet visar att det fanns en väg över sundet väster om Sundsby kile med samma sträckning som idag (/1/). På den tiden verkar det ha varit en bro över sundet, troligtvis med betydligt större öppning än idag. Den naturliga genomströmningsarean utan bro eller vägbank bör ha varit minst 10 m² vid medelvattenstånd (20 m brett sund, ca 0.5 m djupt), vilket är 6-7 gånger större area jämfört med befintlig kulvert.



Figur 14. Översikt över Sundsby kile (ovan) och ortofoto från 2016 (nedan) erhållna från Trafikverket. Röda punkter markerar läget för vägbankarna. I översikten ovan har även vägbanken mellan Orust och Lilla Askerön markerats.



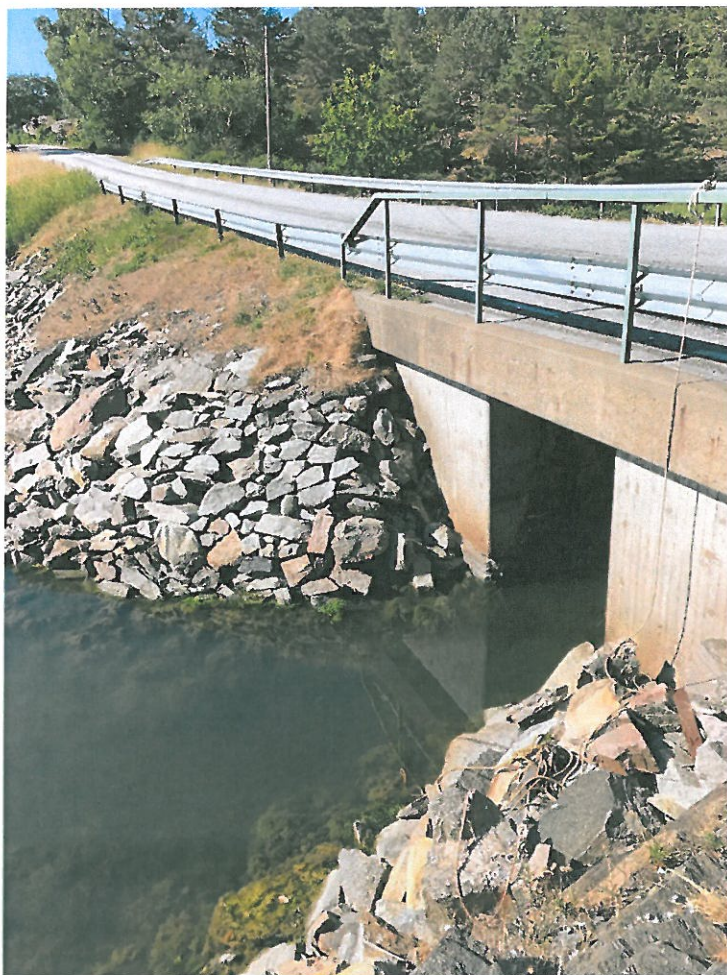
Figur 15. Sunden väster och öster om Sundsby kile. Ortofoton från 2016 erhållet från Trafikverket. Röda punkter markerar läget för öppningar genom vägbankarna.



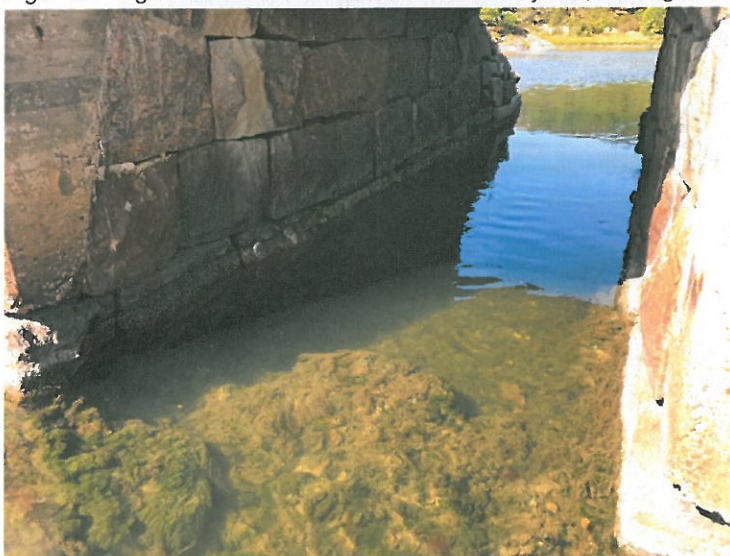
Figur 16. Bro öster om Sundsby kile, bild tagen väster om bron, vy mot öster.



Figur 17. Bro öster om Sundsby kile, bild tagen under bron, vy mot öster (ovan) och mot väster (nedan).



Figur 18. Vägbank med kulvert väster om Sundsby kile, bild tagen öster om bron, vy mot söder.



Figur 19. Kulvert väster om Sundsby kile, vy mot väster.



Figur 20. Grunt område med rester av stenmur strax väster om vägbanken väster om Sundsby kile, vy mot norr.

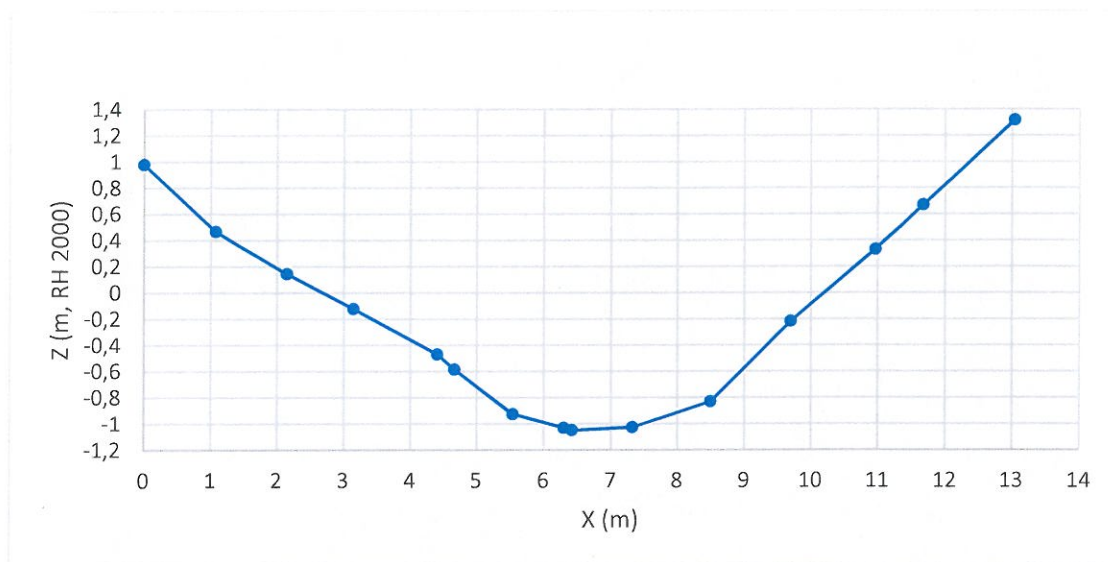
Inmätningar

Öster om Sundsby kile

Inmätningar öster om Sundsby kile genomfördes 2018-07-03 mellan kl. 12.00 och 14.30. Fram till kl 13 strömmade vattnet in mot Sundsby kile (d.v.s. västerut), därefter började det strömma ut. Under fältbesöket var det i stort sett vindstilla.

Inmätningar av bottenprofilen gjordes i flera sektioner närmast uppströms och nedströms, samt under bron. Figur 21 visar en bottenprofil tagen under bron. Tvärsnittsarean vid medelvattenstånd uppgår till ca 5 m².

Mätningar gjordes även av vattenstånd och flödeshastighet för att kunna kontrollera beräknade flöden i modellen. Mätningarna visade att vattenståndet var -0.047 m i Sundsby kile (väster om bron) och -0.067 m i kanalen 10 m öster om bron kl 14. Strömhastigheten genom kulverten uppmättes samtidigt i 20 punkter under bron. Den högsta uppmätta strömhastigheten var 0.5 m/s. Med denna data uppskattades flödet genom vägbanken till ca 1.5 m³/s.



Figur 21. Inmätt tvärsektion under bron öster om Sundsby kile. Den högre sidan av sektionen är mot norr.

Väster om Sundsby kile

Inmätningar väster om Sundsby kile genomfördes 2018-07-04 mellan kl. 08.30 och 11.30. Under denna tid strömmade vattnet in mot Sundsby kile (d.v.s. österut). Under fältbesöket var det vindstilla.

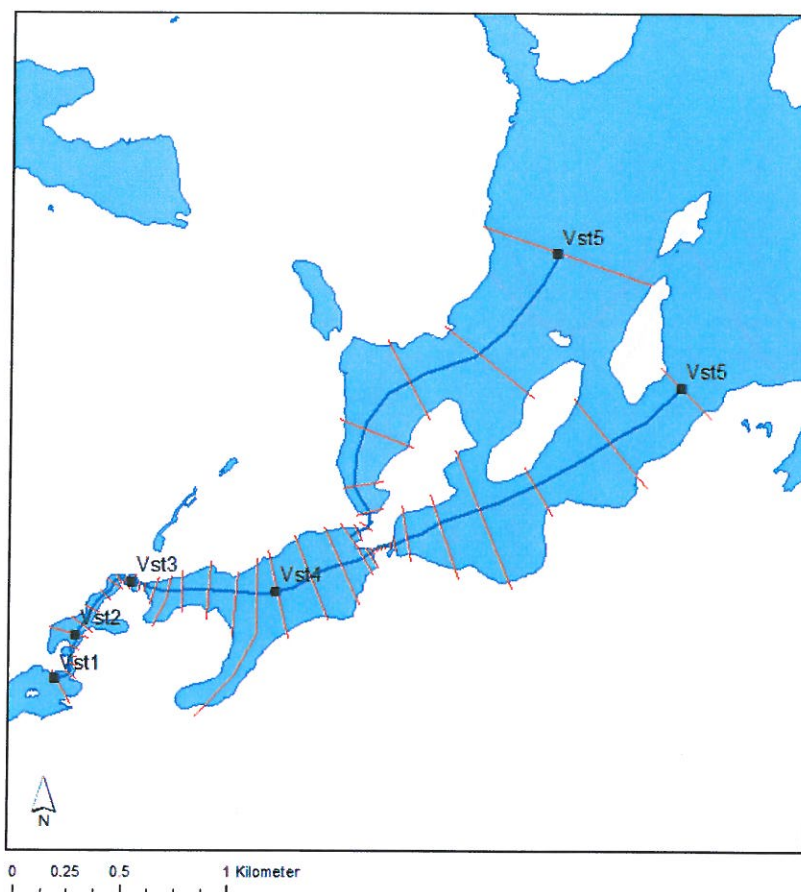
Inmätningar av bottenprofilen gjordes i flera sektioner närmast uppströms och nedströms kulverten. Mätningar gjordes även av vattenstånd och flödes hastighet för att kunna kontrollera beräknade flöden i modellen. Mätningarna visade att vattenståndet var -0.10 m väster om bron och -0.11 m öster om bron kl 10.40. Ström hastigheten genom kulverten uppmättes samtidigt i 20 punkter under bron. Den högsta uppmätta ström hastigheten var 0.35 m/s. Med denna data uppskattades flödet genom kulverten till ca 0.3 m³/s.

Modellberäkningar

Hydraulisk modell

Den hydrauliska modellen omfattar Tjärtånge kile, öppningen genom vägbanken och kanalen öster om Sundsby kile, Sundsby kile, kulverten väster om Sundsby kile och Svanvik, se Figur 22. Flödesvägen norr om Ängholmen sattes in i modellen för att förbereda för ev. kompletterande beräkningar. I samtliga beräkningarna som redovisas i denna rapport har denna flödesväg varit stängd.

Bottenprofilen i varje tvärsektion har uppskattats utifrån sjökort och ortofoto. I de trånga sektionerna mellan Svanvik och Mjölkeviks kile antas djupet vara 0.5 m vid medelvattenstånd. I området närmast väster om vägbanken väster om Sundsby kile har djupet satts till 0.35 m vid medelvattenstånd. Vid vägbankarna har inmätta sektioner och kulvertgeometrier lagts in i modellen.

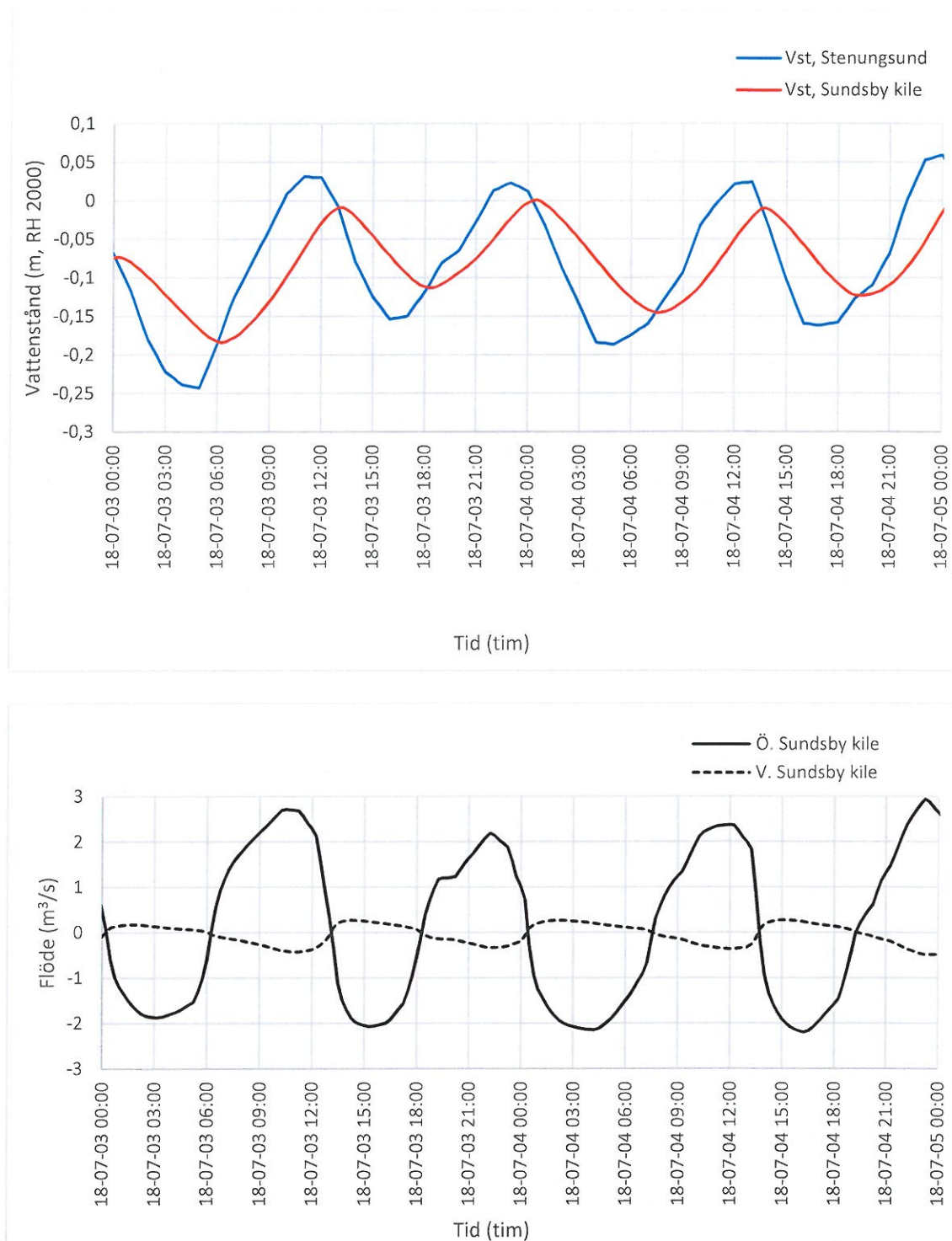


Figur 22. Modellområde och sektionsindelning för analys av vattentransporten genom Sundsby kile. Vst 1-5 markerar punkter där vattenståndet redovisas. Vst 1 och Vst 5 utgör randvillkor i modellen.

Kontroll av modellen

Modellen har kontrollerats mot observationer som gjordes i samband med fältmätningarna öster och väster om Sundsby kile 3/7-4/7. Figur 23 visar resultat från modellering av vattenstånd i Sundsby kile och flöden genom vägbankarna dessa dygn. Vattenståndsdata för drivning av modellen har hämtats från Stenungsund. Vinden kan försummas.

Resultaten överensstämmer väl med observerade vattenstånd vid vägbanken öster om Sundsby kile (-0.04 m), nivåskillnad upp/nedströms bron (0.02 m) och observerat flöde (1.5 m³/s) kl. 13.45 den 3/7. Även tidpunkten då flödet vänder (kl 13) stämmer bra med observationerna i fält. Vändläget inträffar 1.5 timme efter tidvattenvågens vändläge enligt vattenståndsdata från Stenungsund. Resultaten överensstämmer också väl med observerade vattenstånd vid vägbanken väster om Sundsby kile (-0.10 m) och observerat flöde (0.3 m³/s) kl. 10.30 den 4/7.



Figur 23. Beräknat vattenstånd i Sundsby kile vid drivning med vattenståndsdata från Stenungsund (ovan), samt flöde genom vägbanken öster och väster om Sundsby kile (nedan).

Stationär analys

Beräkningar av flödet genom vägbankarna och resten av sundet har gjorts för en antagen konstant vattenståndsskillnad mellan sundets ändar på 0.10 m, d.v.s. mellan Tjärtånge kile och Mjölkeviks kile. Beräkningar har gjorts både vid lågvattenstånd och medelvattenstånd. Beräkningarna är gjorda för stationära förhållanden (ingen variation med tiden) och syftar till att visa hur strömningsförlusterna fördelar sig längs sundet och hur stor betydelse kapaciteten (arean) hos öppningen i vägbankarna har för den totala transporten genom sundet. Resultaten redovisas i .

Det kan noteras att ett beräknat genomflöde på $1 \text{ m}^3/\text{s}$ motsvarar en genomsnittlig uppehållstid på 2 dygn, baserat på uppskattad vattenvolym i Sundby kile på $175\,000 \text{ m}^3$ (med antaget medeldjup på 0.5 m vid medelvattenstånd). Detta kan jämföras med en typisk varaktighet av en vindinducerad vattenståndsskillnad på 8-15 timmar ($/3/$), vilket innebär att en fjärdedel av volymen teoretiskt sett skulle hinnas bytas ut vid ett sådant tillfälle om flödeskapaciteten är $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Förklaring till beteckningar i :

- Vst 1 och Vst 5 är vattenståndet i sundets båda ändar (randvillkor), medan Vst 2-4 är beräknade vattenstånd på olika platser inne i sundet (jfr. Figur 22).
- Differensen mellan Vst 4 och Vst 5 motsvarar energiförlusten vid strömning genom den östra vägbanken, medan differensen mellan Vst 3 och Vst 4 motsvarar energiförlusten vid strömning genom den västra vägbanken.
- Resultaten är grupperade i A- och B-serien efter vattenståndet i sundets ändar. A-serien är lågvattenstånd och B-serien medelvattenstånd, med lägst nivå i den västra änden (västgående ström antas).
- Fall A0 och B0 motsvarar dagens förhållanden med aktuella kulvertgeometrier.
- Fall A1 och B1 motsvarar dagens förhållanden med aktuella kulvertgeometrier, men med en muddrad ränna med minst 8 m bredd och 1 m djup vid medelvattenstånd i de trånga sektionerna mellan Svanvik och Mjölkeviks kile. Botten har även sänkts med 0.4 m i det grunda området närmast väster om vägbanken väster om Sundsby kile.
- Fall A2-11 och B2-10 är olika kombinationer med ökad genomströmningsarea i vägbankarna, i samtliga fall med muddringar av botten mellan Svanvik och Mjölkeviks kile, samt väster om vägbanken väster om Sundsby kile enligt ovan. Vid ökning av genomströmningsarean i den östra vägbanken har även kanalen öster om vägbanken breddats i motsvarande grad.

Fall	Kulvert Sundsby V		Kulvert Sundsby Ö		Vattenstånd					Strömningsförlust				Flöde
	B (m)	A (m ²)	B (m)	A (m ²)	Vst 1 (cm)	Vst 2 (cm)	Vst 3 (cm)	Vst 4 (cm)	Vst 5 (cm)	S _s %	S _N %	V %	Ö %	Q (m ³ /s)
A0	2	1.2	7.5	3.9	-18.0	-10.3	-9.6	-8.6	-8.0	77	7	10	6	0.4
A1	2	1.1	7.0	3.8	-18.0	-16.4	-15.5	-9.7	-8.0	16	9	58	17	0.9
A2	4	2.3	7.5	3.8	-18.0	-14.9	-13.4	-10.9	-8.0	31	15	25	29	1.3
A3	6	4.0	7.5	3.8	-18.0	-14.5	-12.8	-11.3	-8.0	35	17	15	33	1.4
A4	8	5.3	7.5	3.7	-18.0	-14.3	-12.5	-11.5	-8.0	37	18	10	35	1.4
A5	2	1.3	13	9.9	-18.0	-15.8	-14.6	-9.0	-8.0	22	12	56	10	1.1
A6	4	2.7	13	9.8	-18.0	-13.8	-11.9	-9.6	-8.0	42	19	23	16	1.5
A7	6	4.1	13	9.8	-18.0	-13.3	-11.2	-9.8	-8.0	47	21	14	18	1.6
A8	8	5.5	13	9.8	-18.0	-13.2	-11.0	-9.8	-8.0	48	22	12	18	1.6
A9	4	2.8	22	21.7	-18.0	-13.2	-11.0	-8.5	-8.0	48	22	25	5	1.6
A10	6	4.2	22	21.7	-18.0	-12.5	-10.1	-8.5	-8.0	55	24	16	5	1.7
A11	8	5.6	22	21.7	-18.0	-12.3	-9.9	-8.6	-8.0	57	24	13	6	1.8
B0	2	1.4	7.8	4.8	-5.0	+1.4	+2.1	+4.1	+5.0	64	7	20	9	0.7
B1	2	1.4	7.8	4.8	-5.0	-3.4	-2.8	+3.3	+5.0	16	6	61	17	1.2
B2	4	2.8	7.8	4.7	-5.0	-1.8	-0.6	+2.1	+5.0	32	12	27	29	1.7
B3	6	4.8	7.8	4.7	-5.0	-1.3	+0.1	+1.6	+5.0	37	14	15	34	1.8
B4	8	6.4	7.8	4.7	-5.0	-1.1	+0.4	+1.4	+5.0	39	15	10	36	1.9
B5	10	8.0	7.8	4.7	-5.0	-1.1	+0.4	+1.3	+5.0	39	15	9	37	1.9
B6	2	1.6	13	11.5	-5.0	-2.9	-2.1	+4.0	+5.0	21	8	61	10	1.4
B7	4	3.2	13	11.5	-5.0	-0.8	+0.8	+3.4	+5.0	42	16	26	16	2.0
B8	6	4.9	13	11.4	-5.0	-0.1	+1.7	+3.2	+5.0	49	18	15	18	2.1
B9	8	6.5	13	11.4	-5.0	0.0	+1.9	+3.1	+5.0	50	19	12	19	2.2
B10	10	8.1	13	11.4	-5.0	+0.2	+2.0	+3.1	+5.0	52	18	11	19	2.2

Tabell 3. Beräknade flöden och nivåer för olika dimensioner på öppningar genom vägbankarna öster och väster om Sundsby kile, B = öppningens bredd i vattenlinjen vid medelvattenstånd, A = aktiv genomströmningsarea i kulverten, S_s och S_N är strömningsförlusten genom södra och norra delen av Svanvik, V och Ö är strömningsförlusten genom västra vägbanken och östra vägbanken (inkl. kanalen), Q = flöde genom kulverten och resten av sundet.

Beräknade flöden från visas i Figur 24 som funktion av genomströmningsarean i den västra vägbanken. De olika kurvorna i diagrammet svarar mot olika vattenstånd (låg vattenstånd resp. medelvattenstånd) och olika genomströmningsarea i den östra vägbanken inklusive kanalen.

Vid medelvattenstånd (röd heldragen linje) blir flödeskapaciteten högre jämfört med vid låg vattenstånd (blå heldragen linje) för samma vattenståndsskillnad över sundet. Flödena vid låg vattenstånd är de mest kritiska och ligger därför till grund för slutsatserna i första hand.

För dagens förhållanden (A₀, B₀) är strömningsmotståndet genom de grunda och smala delarna av Svanvik, mellan den västra vägbanken och Mjölkeviks kile, helt dominerande. Det betyder att det inte är meningsfullt att öka kapaciteten genom den västra vägbanken utan att också göra muddringar på denna sträcka. Efter muddringar enligt tidigare beskrivning fördubblas flödet genom sundet (A₁, B₁).

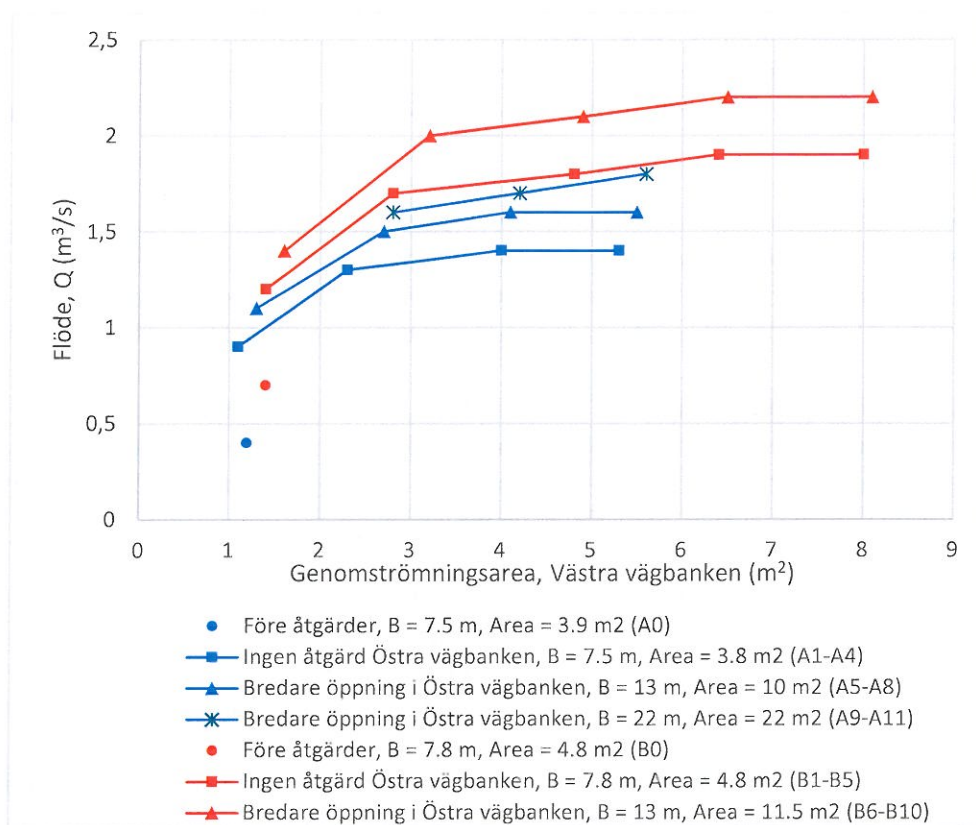
Flödet genom vägbankarna och genom resten av sundet ökar med ökad genomströmningsarea i den västra vägbanken (A₁-A₄, B₁-B₅) upp till en maximal flödeskapacitet (plana delen av kurvan). Med ökad genomströmningsarea i den östra

vägbanken förskjuts kurvorna mot högre flöden (A5-A8, A9-A11, B6-B10). Figur 25 visar samma resultat som Figur 24, men uttryckt som procent av maxflödet. Figur 26 visar strömningsförlusten över västra vägbanken i procent av den totala strömningsförlusten över sundet.

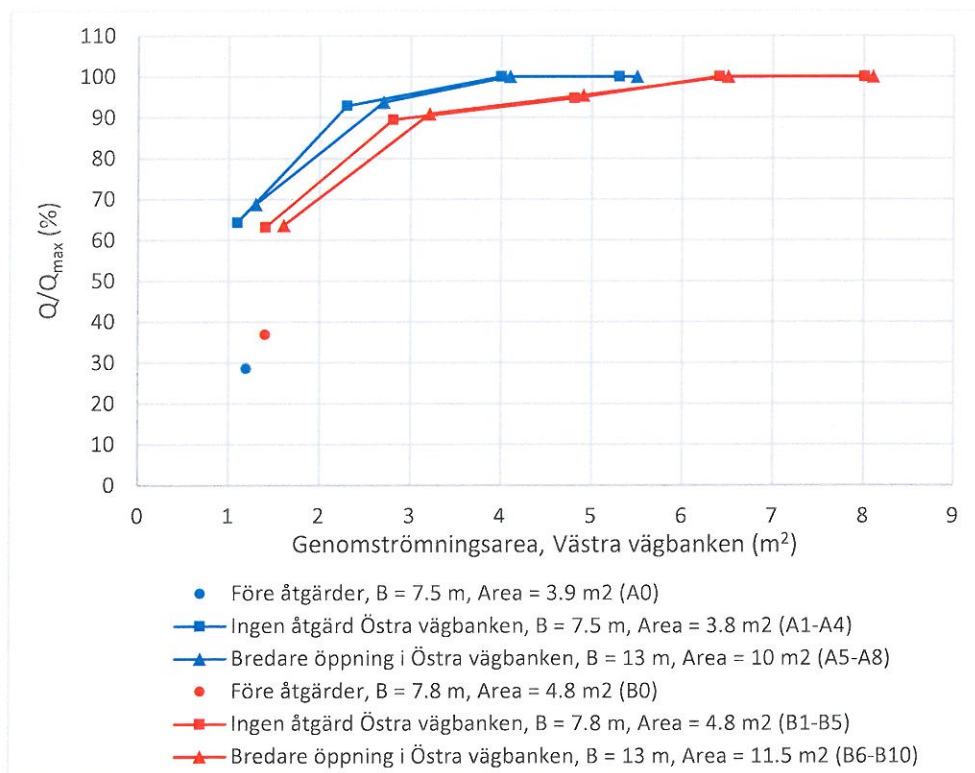
För den västra vägbanken visar resultaten vid lågvattenstånd att ca 90 % av maxkapaciteten uppnås med dubbelt så stor genomströmningsarea i vägbanken, från drygt 1 m² till 2.5 m². Samtidigt minskar förlusten över kulverten från ungefär 60 % till 30 % av den totala förlusten. Vid 4 m² genomströmningsarea har man praktiskt taget uppnått maxkapaciteten.

Figur 27 visar beräknade flöden från vid lågvattenstånd, men istället uttryckt som funktion av genomströmningsarean i den östra vägbanken. De olika kurvorna svarar i detta fall mot olika genomströmningsarea i den västra vägbanken. Figur 28 visar strömningsförlusten över östra vägbanken i procent av den totala förlusten för hela sundet.

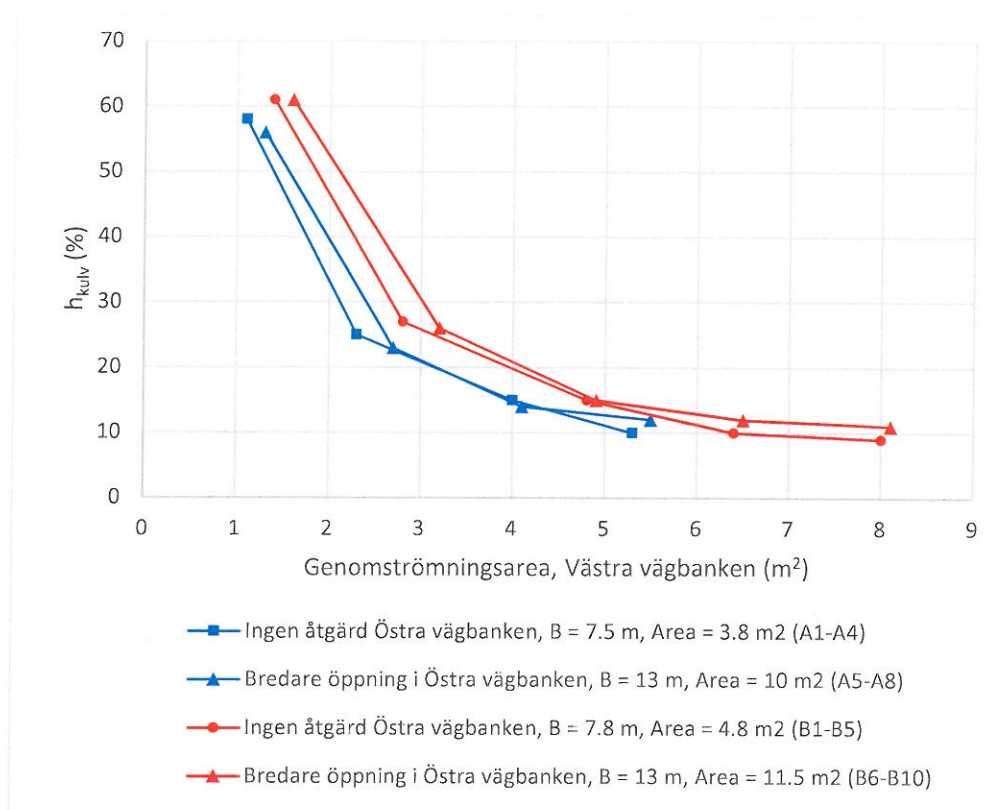
Vid den östra vägbanken visar beräkningarna att en fördubbling av genomströmningsarean från 5 m² till 10 m² skulle öka flödeskapaciteten till uppskattningsvis 90 % av maxkapaciteten vid lågvattenstånd. Strömningsförlusten över den östra vägbanken skulle ungefär halveras och hamna på 10-20 % av den totala förlusten. Med en genomströmningsarea på 20 m² blir förlusten endast 5 % av den totala, vilket betyder att ytterligare genomströmningsarea i den östra vägbanken (inklusive kanalen) skulle få mycket begränsad effekt på genomströmningen.



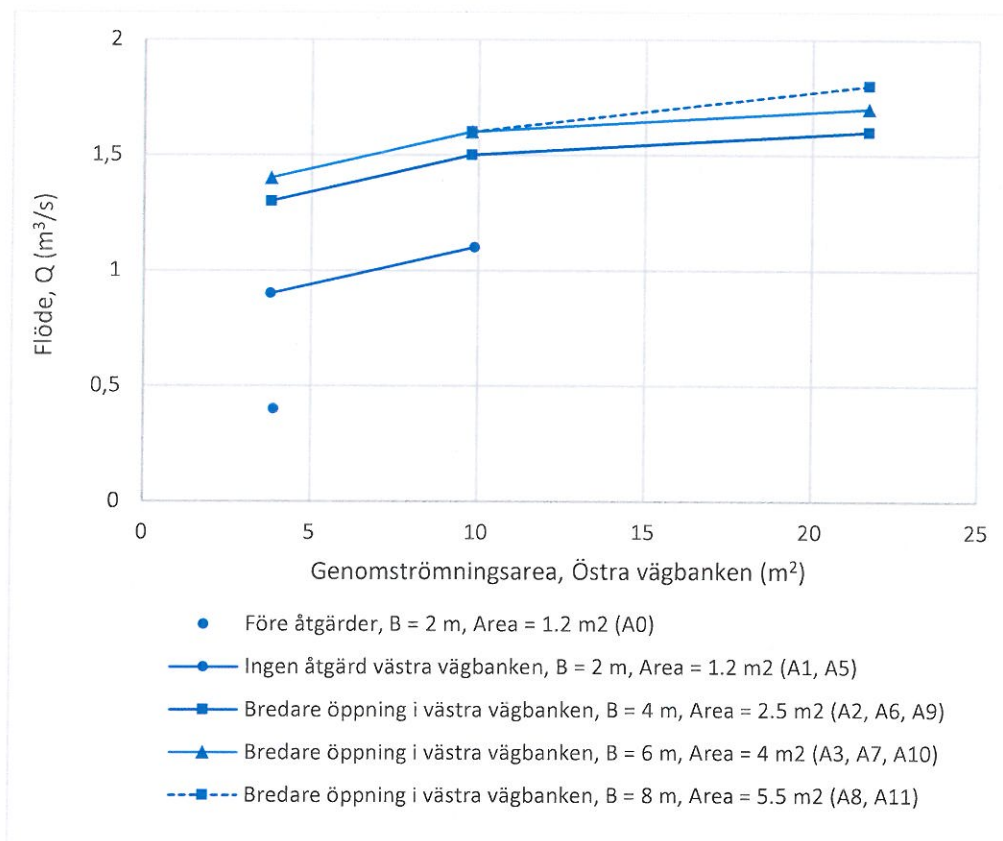
Figur 24. Beräknad flödeskapacitet som funktion av genomströmningsarean genom vägbanken väster och öster om Sundsby kile vid lågvattenstånd (blå) och medelvattenstånd (röd).



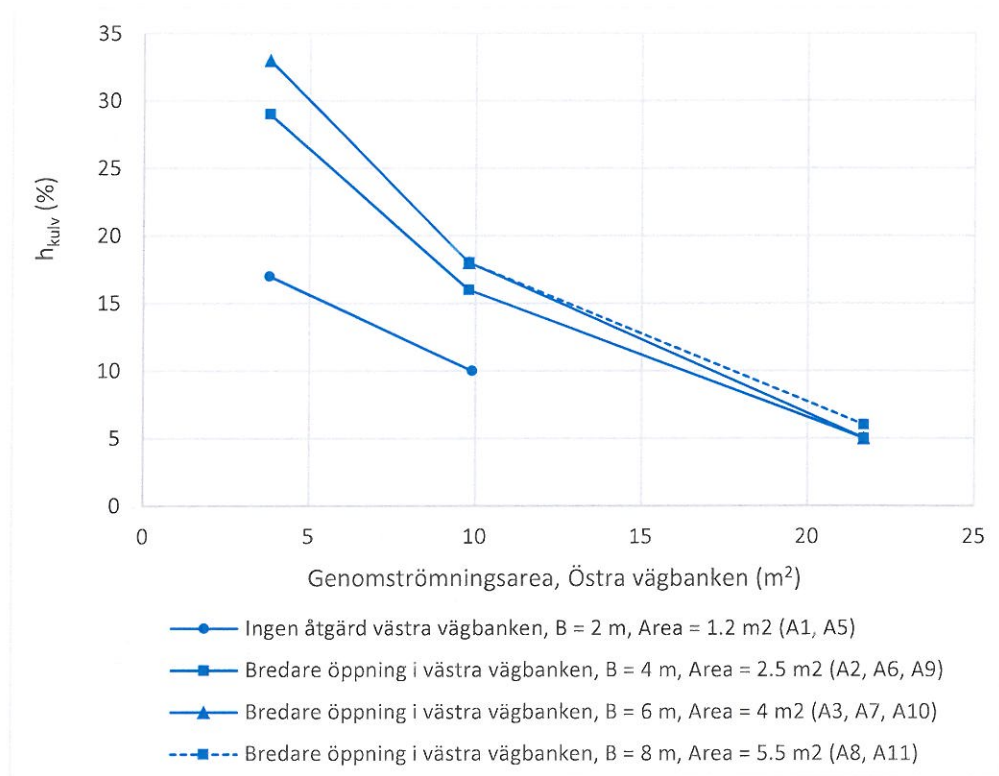
Figur 25. Beräknad flödeskapacitet i procent av maximala flödet i sundet vid lågvattenstånd (blå) och medelvattenstånd (röd).



Figur 26. Beräknad strömningsförlust över kulverten i västra vägbanken i procent av totala strömningsförlusten för hela sundet vid lågvattenstånd (blå) och medelvattenstånd (röd).



Figur 27. Beräknad flödeskapacitet som funktion av genomströmningsarean genom vägbanken öster om Sundsby kile vid lågvattenstånd.



Figur 28. Beräknad strömningsförlust över kulverten i östra vägbanken i procent av totala strömningsförlusten för hela sundet vid lågvattenstånd.

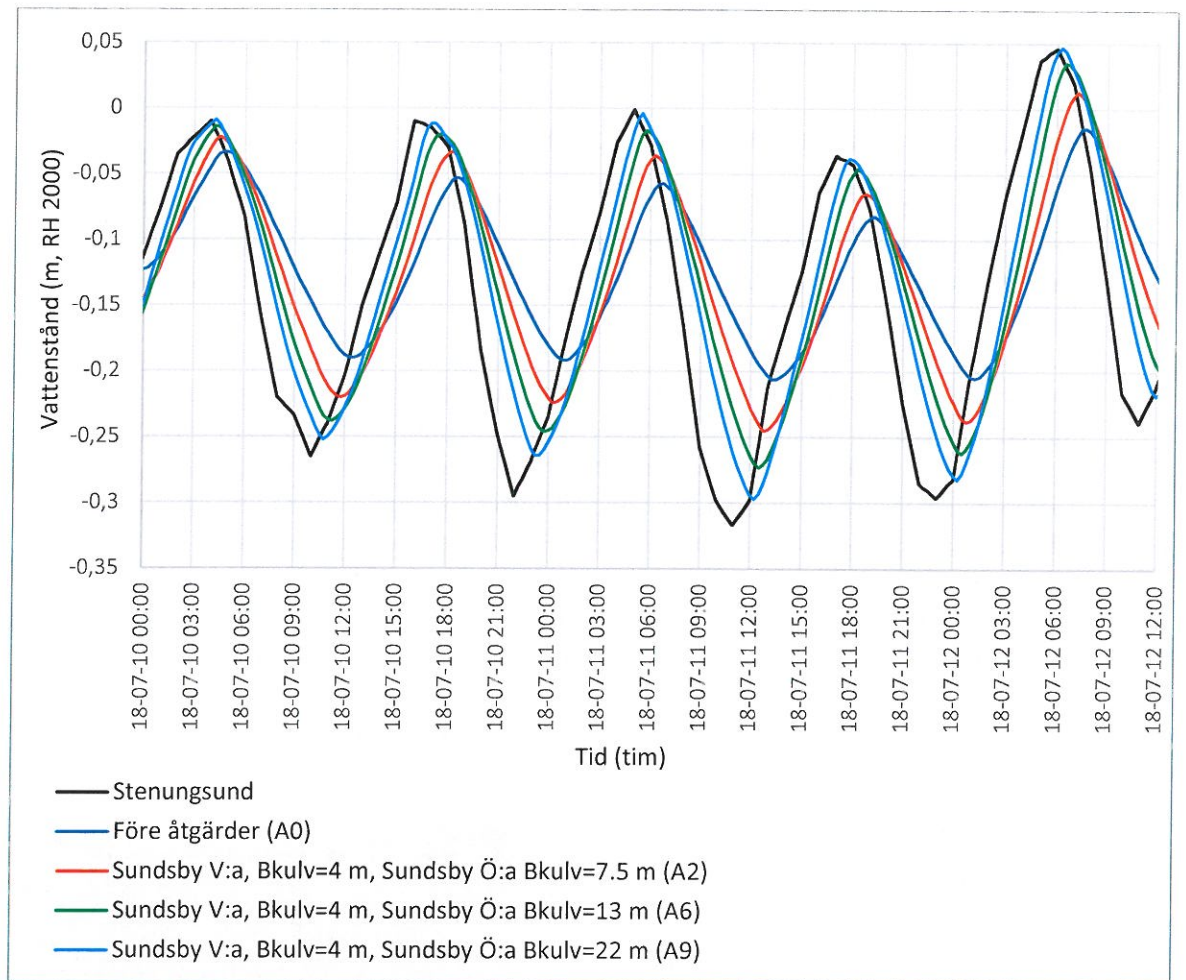
Dynamisk analys

Under högtryckssituationer med svaga vindar kommer vattentransporten in och ut ur Sundsby kile i första hand att styras av tidvattenrörelser. Samma vattenstånd har ansatts i modellens båda ändar. I denna analys betraktas Sundsby kile som en vik med en östlig och en västlig öppning mot omgivande djupare vattenområden. Under stigande tidvatten pressas vatten in i Sundsby kile både vid östra och västra öppningen och vid sjunkande tidvatten pressas vatten i motsatta riktningar ut ur Sundsby kile.

Figur 29 visar beräknade vattenstånd i mitten av Sundsby kile under 2.5 dygn med lågvattenstånd tillsammans med ansatt vattenstånd på modellens ränder enligt data från Stenungsund. Resultat redovisas för ett urval scenarier från .

Beräkningarna visar att tidvattenrörelsen inne i Sundsby kile är kraftigt dämpad för dagens förhållanden (före åtgärder) med ungefär halverad amplitud (A_0). Det betyder att vattenomsättningen blir ungefär 50 % av den möjliga. Speciellt följer inte vattenståndet inne i Sundsby kile den undre delen av tidvattenvågen. Efter kapacitetshöjande åtgärder vid den västra vägbanken (A2), inklusive muddringar av botten i Svanvik, uppnås en vattenståndsrorelse som är ca 65 % av den möjliga.

För att ytterligare förbättra vattenomsättningen krävs en större genomströmningsarea i den östra vägbanken. Med 2.5 gånger större area (A6) uppnås en vattenståndsrorelse som är 80 % av den möjliga. Med 5.5 gånger större sektionensarea (A9) uppnås en vattenståndsrorelse som är 90 % av den möjliga.



Figur 29. Beräknade vattenstånd inne i Sundsby kile. Drivning med vattenståndsdata från Stenungsund.

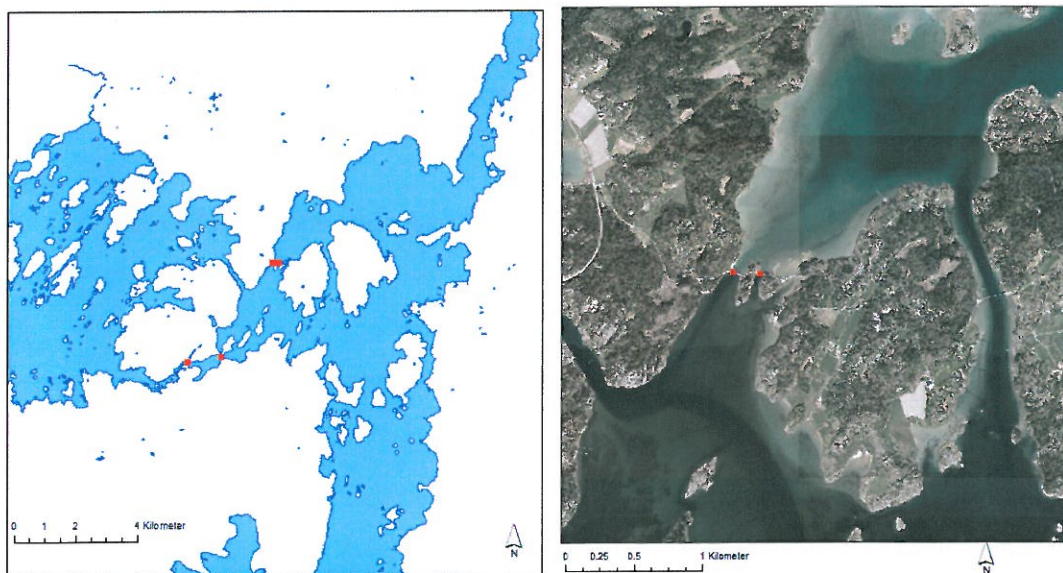
Vägbankar över sundet Orust – Lilla Askerön

Beskrivning av vattenområdet med vägbankar

Vägbanken över sundet mellan Orust och Lilla Askerön går över öarna Risbodarna som delar upp sundet i tre delar: väster, mitten och öster. Den västra och mittersta delen av sundet ingår i den aktuella utredningen. Vägbankarnas lägen har markerats i Figur 30 och Figur 31.

Den västra vägbanken är 110 m lång och har två trummor med invändig diameter 1.8 m. Den mittersta vägbanken är 40 m och saknar i dagsläget trummor. Den ljusare färgnyansen i ortofotot, framförallt norr om vägbankarna, visar att området är grunt (Figur 31). Norr och söder om den västra vägbanken går enligt sjökortet en djupare ränna med djup över 6 m. Vid sidan om denna grundar det snabbt upp till mindre än 3 meters djup.

Den ekonomiska kartan från 1930-40-talet visar hur det såg ut innan vägbanken byggdes (/1/). Väster om Risbodarna kunde vatten passera genom ett 100 m brett sund. I den mittersta delen var sundet 40 m brett och i den östra delen omkring 50 m brett. Transportkapaciteten genom sundet mellan Orust och Lilla Askerön är således mycket kraftigt reducerad med den vägbank som finns idag.

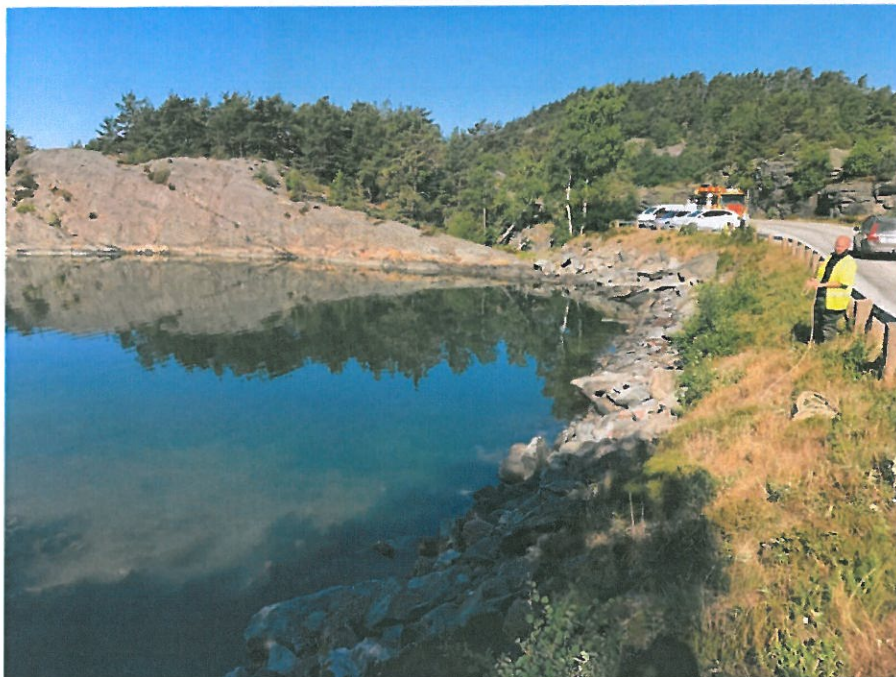


Figur 30. Översikt över vattenområdet runt Askeröarna (vänster), samt ortofoto från 2016 (höger). Röda punkter markerar läget för vägbankarna. I översikten till vänster har även vägbanken öster och väster om Sundsby kile markerats.



Figur 31. Väster och mitten i sundet mellan Orust och Lilla Askerön. Ortofoto från 2016 erhållet från Trafikverket.

Bilder tagna i samband med fältmätningarna 2018-07-03 visas i Figur 32 till Figur 36.



Figur 32. Vägbank över mittendelen av sundet Orust – Lilla Askerön. Bro, bild tagen på södra sidan av vägbanken, vy mot väster.



Figur 33. Vägbank över mittendelen av sundet Orust – Lilla Askerön. Bild tagen på norra sidan av vägbanken, vy mot nordost.



Figur 34. Vägbank med trummor i västra delen av sundet Orust – Lilla Askerön. Bilden är tagen på norra sidan av vägbanken med vy mot norr.



Figur 35. Vägbank över västra delen av sundet Orust – Lilla Askerön. Bilden är tagen på norra sidan av vägbanken med vy mot väster.



Figur 36. Västra delen av sundet Orust – Lilla Askerön. Bilden är tagen på norra sidan av vägbanken med vy mot nordväst.

Inmätningar

Inmätningarna genomfördes 2018-07-03 mellan kl. 08.30 och 11.30. Inmätningar av botten gjordes i anslutning till vägbankarna. Nivån (vattengången) för vägtrummorna i västra delen av vägbanken mättes in till -1.4 m (RH 2000). Djupet i trummorna är således ca 1.4 m vid medelvattenstånd. Trummornas hjässa (insida) har nivån +0.40 m, vilket motsvarar ca 40 cm över medelvattenstånd. Trummorna är 20 m långa. Trummorna verkade vara fria från sediment.

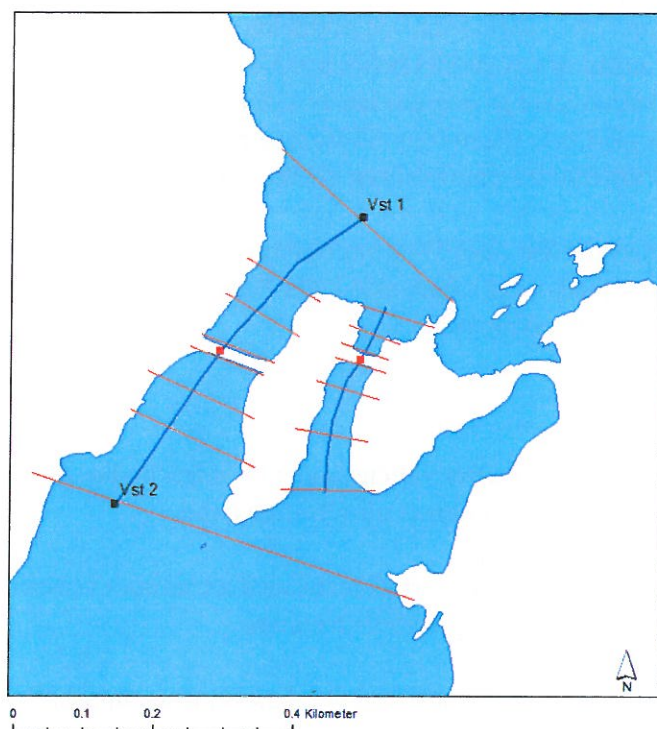
Under fältbesöket var det svag vind. Strömshastigheter på omkring 0.1 m/s genom vägtrummorna i västra delen av sundet noterades vid ett vattenstånd på +0.04 m. Från detta uppskattades flödet genom vardera vägtrumman till 0.1-0.2 m³/s. Vattenståndsskillnaden mellan norra och södra sidan av vägbanken var endast någon millimeter.

Modellberäkningar

Hydraulisk modell

Den hydrauliska modellen omfattar västra delen och mittdelen av sundet mellan Orust och Lilla Askerön, se Figur 37. Transporten genom respektive del av sundet simuleras samtidigt i modellen genom att Vst 1 och Vst 2 utgör randvillkor för båda grenarna. Bottenprofilen i tvärsektionerna har uppskattats utifrån sjökort och ortofoto. Vid vägbankarna har inmätta sektioner och dimensioner på trummor lagts in i modellen. Djupet är en mindre kritisk

parameter i detta fall eftersom strömningsmotståndet genom sunden är litet i jämförelse med strömningsmotståndet genom de trummor som läggs i vägbankarna.



Figur 37. Modellområde och sektionsindelning för analys av vattentransporten genom västra och mittendelen av sundet mellan Orust och Lilla Askerön. Vst 1 och Vst 2 utgör randvillkor för transporten genom båda västra delen och mittendelen av sundet.

Kontroll av modellen

En kontroll av modellerad flödeskapacitet för kulvertarna genom den västra vägbanken gjordes mot observationerna i fält och visade på rimliga resultat. Osäkerheterna i uppmätta strömhastigheter och uppmätt nivåskillnad är dock stora p.g.a. svag ström och växlande förhållanden (strömriktning). Det gör att observerade flöden och nivåer är alltför osäkra för att kunna användas för kalibrering av förlust-koefficienterna för kulvertarna. Av den anledningen används standardvärden i modellen. Detta bedöms ge rimliga resultat med de förutsättningar som råder vid vägbanken.

Stationär analys¹

Beräkningar av flödet genom vägbankarna och genom resten av sunden har gjorts för en antagen vindgenererad vattenståndsskillnad över vägbankarna på 5 cm, respektive 1 cm. Beräkningar har gjorts både vid lågvattenstånd och medelvattenstånd. Beräkningarna är gjorda för stationära förhållanden (ingen variation med tiden) och syftar till att visa hur stor betydelse genomströmningen har för den totala transporten genom sunden.

¹ Ingen dynamisk analys av tidvattenrörelser har gjorts i detta fall. Tidvatten bidrar visserligen till vattenutbytet på båda sidor om vägbanken, men ger inte upphov till någon större transport av vatten genom vägbanken eftersom väsentligen samma tidvattensignal når fram till båda ändar av sundet.

Beräkningen av flödeskapaciteten antas gälla både för den västra delen av sundet och mittdelen. Anledningen är att strömningsmotståndet i sunden upp- och nedströms respektive del är litet i förhållande till strömningsmotståndet genom trummorna. Det betyder att skillnader i bredd och djup i den västra delen och mittdelen av sundet saknar betydelse i kapacitetsberäkningen. I mittdelen av sundet behöver det dock muddras en ränna ner till ca 2 m djup vid medelvattenstånd på norra sidan av vägbanken. I beräkningarna förutsätts att detta är gjort hela vägen fram till trummorna så att vattnet kan strömma med försumbart motstånd till/från trummorna även vid låga vattenstånd.

Resultaten redovisas i . I tabellen betecknar Vst 1 och Vst 2 vattenståndet i sundets båda ändar (randvillkor). Samma läggningsdjup (-1.4 m), dimension (Ø 1.8 m) och längd (20 m) som för befintliga trummor har antagits i beräkningarna.

Förklaring till redovisade beräkningsfall i :

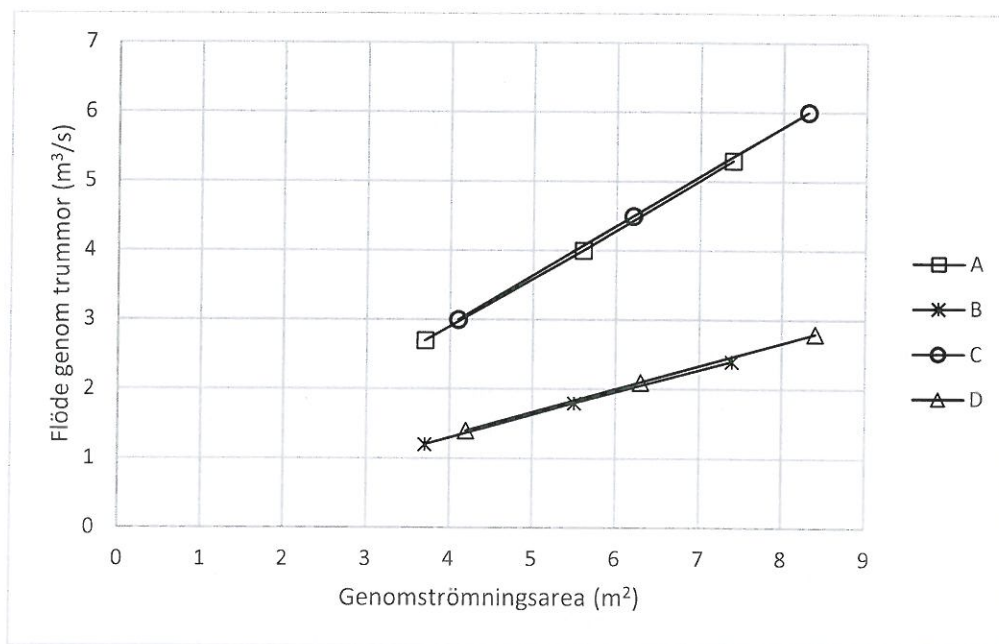
- Resultaten är grupperade i A, B, C och D efter vattenståndet i sundets ändar. A- och B-serien är lågvattenstånd och C- och D-serien är medelvattenstånd.
- Fall A0, B0, C0 och D0 motsvarar aktuell kulvertgeometri med 2 trummor i västra delen av sundet. I övriga fall är det 3 eller 4 parallella trummor.
- Den sista kolumnen visar genomsnittlig uppehållstid (T_N) baserat på en uppskattad vattenvolym på 185 000 m³ i västra delen och 65 000 m³ i östra delen, inom det område som täcks in av modellen (jfr. Figur 37). Uppehållstiden ger ett tydligare mått på vad en ändring av flödeskapaciteten betyder för vattenomsättningen.

Fall	Utformning vägtrumma	Vatten-gång (m)	Vst 1 (cm)	Vst 2 (cm)	A_{tot} (m ²)	Q_{tot} (m ³ /s)	Västra	Mitten
							$T_N = \text{Volym} / \text{Flöde (tim)}$	$T_N = \text{Volym} / \text{Flöde (tim)}$
A0	2 x 1.8 m (nuläge)	-1.4	-13	-18	3.7	2.7	19	7
A1	3 x 1.8 m	-1.4	-13	-18	5.6	4.0	13	5
A2	4 x 1.8 m	-1.4	-13	-18	7.4	5.3	10	3
B0	2 x 1.8 m (nuläge)	-1.4	-17	-18	3.7	1.2	43	15
B1	3 x 1.8 m	-1.4	-17	-18	5.5	1.8	29	10
B2	4 x 1.8 m	-1.4	-17	-18	7.4	2.4	21	8
C0	2 x 1.8 m (nuläge)	-1.4	0	-5	4.1	3.0	17	6
C1	3 x 1.8 m	-1.4	0	-5	6.2	4.5	11	4
C2	4 x 1.8 m	-1.4	0	-5	8.3	6.0	9	3
D0	2 x 1.8 m (nuläge)	-1.4	0	-1	4.2	1.4	37	13
D1	3 x 1.8 m	-1.4	0	-1	6.3	2.1	24	9
D2	4 x 1.8 m	-1.4	0	-1	8.4	2.8	18	6

Tabell 4. Beräknade flöden för olika utformningar på vägtrummor. A_{tot} = total genomströmningsarea i trummor, Q_{tot} = totalt flöde genom trummor i respektive vägbanksdel (västra delen eller mittdelen), T_N = genomsnittlig uppehållstid.

Uppehållstiden kan jämföras med en typisk varaktighet av 8 till 15 timmar för en vindinducerad vattenståndsskillnad (/3/) över sundet. Med 4-5 trummor i den västra delen och 2 trummor i mittdelen skulle teoretiskt sett hela vattenvolymen i respektive del av sundet hinna bytas ut i en sådan situation.

Det linjära sambandet mellan flöde och genomströmningsarea visas i Figur 38. Linjens lutning beror av vattenståndsskillnaden, men varierar i detta fall obetydligt med vattenståndet.



Figur 38. Beräknad flödeskapacitet för olika utformningar av vägtrummor och ansatt vattenstånd upp/nedströms vägbanken.

Diskussion och slutsatser

Den hydrauliska analysen visar i vilken utsträckning befintliga vägbankar med trummor eller kulvertar begränsar vattenutbytet i de studerade sunden. Analysen fokuserar på kritiska situationer sommartid då genomströmningen drivs antingen av en vindgenererad vattenståndsskillnad över sunden, eller av tidvattenrörelser. I de mest ogynnsamma situationerna med lågt vattenstånd och svag vind är tidvattenrörelserna särskilt viktiga för vattenutbytet.

Måksund (Galtö Lera)

Beräkningar av flöden genom vägbanken vid Måksund och genom Galtö Lera visar i vilken utsträckning befintlig kulvert begränsar genomflödet vid en antagen vindinducerad vattenståndsskillnad mellan Måksund och norra änden av Galtö. Beräkningarna visar att strömningsförlusten för befintlig kulvert uppgår till 50-80 % av den totala förlusten för hela sundet vid lågvattenstånd, vilket är en betydande del. Med befintlig kulvert ger detta en flödeskapacitet på 40-75 % av den möjliga kapaciteten (utan vägbank).

Osäkerheten i beräkningen beror framförallt på osäkerheter kring djupförhållandena i de smala passagerna i norra delen av Galtö Lera. Ju djupare det är i dessa passager, desto större andel av den totala strömningsförlusten sker i kulverten och desto större blir effekten på genomströmningen om kulvertarean ökas.

Beräkningarna visar att med 2-2.5 gånger så stor kulvertarea (20-25 m²) skulle genomflödet i sundet öka till 80-90 % av det möjliga genomflödet (utan vägbank) vid lågvattenstånd. Strömningsförlusterna över kulverten minskar då till 10-40 % av den totala förlusten. Ytterligare ökning av flödesarean kommer inte att ha så stor effekt på genomflödet.

Den dynamiska analysen av tidvattendrivet vattenutbyte visar att vattenomsättningen även med befintlig kulvert blir så hög som 80-90 % av den möjliga omsättningen vid lågvattenstånd. Flödet genom vägbanken utgör i detta fall ungefär 20 % av den totala volym som strömmar in till och ut från Galtö Lera under en tidvattenperiod. Resten av vattenutbytet sker via den norra änden av sundet.

Med dubbelt så stor genomströmningsarea i kulverten visar beräkningarna att man skulle kunna uppnå nästan fullt tidvattendrivet vattenutbyte. Detta kan vara en väsentlig förbättring i ett så grunt område som Galtö Lera med naturligt dåliga förutsättningar för vattenutbyte. Med dubbelt så stor area i kulverten skulle ungefär 40 % av det tidvattendrivna vattenutbytet i Galtö Lera ske via flödet genom vägbanken. Denna omfördelning med större intransport från söder bör också ha en positiv inverkan på förhållandena inne i Galtö Lera eftersom vatten som strömmar in via Måksund står i direkt förbindelse med djupare vattenområden västerut med bättre omsättning.

En ökning av genomströmningsarean i vägbanken vid Måksund kan ske genom ökad öppningsbredd och/eller sänkning av botten. Vid fältmätningarna framkom att djupet i rännan väster och öster om vägbanken är minst 2.5 m vid medelvattenstånd. Det innebär att det finns utrymme för att sänka botten i befintlig kulvert utan ytterligare muddringar i anslutning till kulverten. Genom åtgärder i befintlig kulvert borde det vara möjligt att öka arean, dels genom att gräva ur de massor som har rasat ner öster om vägbanken på norra

sidan, dels genom att gräva ur botten över hela öppningens bredd. Med botten urgrävd ner till -2.5 m borde det vara möjligt att öka genomströmningsarean vid lågvattenstånd med närmare 50 %. Detta skulle innebära en klar förbättring av kapaciteten för de mest kritiska situationerna med låga vattenstånd, även om man inte uppnår den kapacitetshöjning som föreslås ovan (2-2.5 gånger större area vid lågvattenstånd).

Sundsby kile

För dagens förhållanden är vattenutbytet i den västra delen av Sundsby kile mycket begränsad vid låga vattenstånd p.g.a. begränsad intransport västerifrån. Detta beror på det förhållandevis stora strömningsmotståndet genom de grunda delarna av Svanvik mellan vägbanken och Mjölkeviks kile. Även befintlig kulvert i vägbanken väster om Sundsby kile utgör en begränsning, men för att en ökad genomströmningsarea i vägbanken ska få effekt krävs muddring av rännor genom de grunda delarna av Svanvik. Om detta görs visar den stationära analysen att det räcker att dubbla genomströmningsarean i den västra vägbanken, från drygt 1 m² till 2.5 m² vid lågvattenstånd. Det skulle ge ett genomflöde i sundet på 90 % av maxkapaciteten. Vid den östra vägbanken skulle också en fördubbling av genomströmningsarean, från 5 m² till 10 m² vid lågvattenstånd, ge ett genomflöde på ungefär 90 % av maxkapaciteten.

Den dynamiska analysen visar att tidvattenrörelsen inne i Sundsby kile är kraftigt dämpad för dagens förhållanden med ungefär halverad amplitud. Genomströmningsarean i den östra vägbanken, inklusive kanalen, skulle behöva vara minst 2.5 gånger större för att uppnå en vattenståndsrörelse som är minst 80 % av den möjliga, förutsatt att muddringar även görs i Svanvik och att kulvertarean ökas till den dubbla i den västra vägbanken. Detta skulle innebära en väsentlig förbättring jämfört med idag. Den dynamiska analysen visar också att det är särskilt viktigt att öka genomströmningsarean vid låga vattenstånd, d.v.s. att sänka botten i hela kanalen genom vägbanken öster om Sundsby kile, och inte bara öka bredden.

Ett alternativ eller komplement till kapacitetshöjande åtgärder i den östra vägbanken är att öppna upp en kanal i den norra delen av vägbanken norr om Ängholmen. Detta skulle dock kräva relativt omfattande muddringar, både längst in i viken norr om Ängholmen och vid kanalens mynning i Sundsby kile.

Mitten och väster i sundet Orust – Lilla Askerön

Kapacitetsberäkningar för en vindinducerad vattenståndsskillnad över västra delen och mittdelen av sundet indikerar att det skulle behövas minst 4 trummor i den västra delen och minst 2 trummor i mittdelen, med samma lägningsdjup (vattengång -1.4 m) och dimension (Ø 1.8 m) som befintliga trummor i den västra vägbanken. I mittdelen av sundet krävs även muddringar på den norra sidan av vägbanken.

Med dessa åtgärder skulle en vindinducerad vattenståndsskillnad med ett halvt dygns varaktighet teoretiskt sett kunna byta ut hela vattenvolymen i de grunda delarna närmast vägbanken på norra och södra sidan. Större dimensioner kan vara ett alternativ till fler parallella trummor för att uppnå önskad genomströmningsarea.

Referenslista

- /1/ Länsstyrelsen Västra Götaland (2015). Öppna vägbankar för ökad vattencirkulation. En förstudie. Rapport 2016:05.
- /2/ Länsstyrelsen Västra Götalands län (2017). Modellberäkningar av vattencirkulation i grunda havsvikar – Utredning av påverkan från vägbankar vid Björnäs och Haga kile. DHI Uppdragsnr. 12803772, 2017-10-03.
- /3/ Lindahl (2001). Vägbankars inverkan på vattencirkulationen i grunda havsvikar. Projekt EU Life algae.
- /4/ DHI (2018). MIKE 11, A modelling system for rivers and channels: Reference Manual. Hørsholm, Danmark: DHI

Kvalitetsgranskning

Genomförd:	Ja ☐ Nej ☒ Datum: Klicka här för att ange datum.
Utförd av:	

.....
Datum och underskrift av kvalitetsgranskare

Avslut av studie

2018-12-10 Carine Karlsson
.....
Datum och underskrift av ansvarig för genomförande av åtgärdsvalsstudien

2018-12-17 [Signature]
.....
Godkänt - datum och underskrift av chef

