

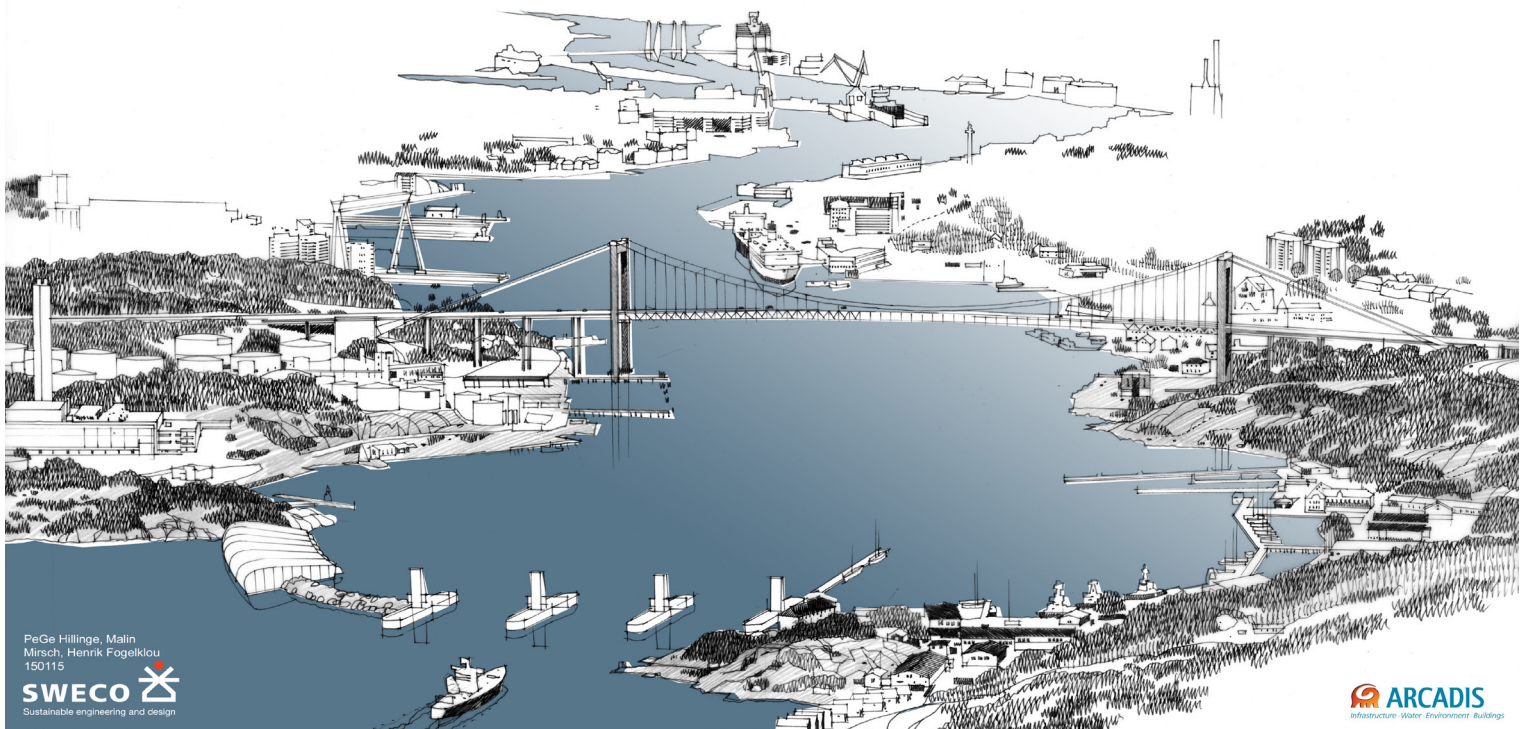


Göteborgs Stad
Stadsbyggnadskontoret

FÖRSTUDIE

YTTRE PORTAR MOT HAVET

FÖR ATT SKYDDA MOT ÖVERSVÄMMNING VID HÖG HAVSNIVÅ



PeGe Hillinge, Malin
Mirsch, Henrik Fogelklou
150115

SWECO 
Sustainable engineering and design

 **ARCADIS**
Infrastructure Water Environment Buildings

Innehåll

Förord

1. Inledning	7
Bakgrund	8
Uppdraget	8
Rapportstruktur	8
Hänvisningar	9
Avgränsningar	10
2. Huvudplan för skyddsportar	13
Nuvarande förhållanden	15
Inventering av funktioner och aspekter	15
Krav	15
Identifiering av utformningsalternativ	16
Multikriterieanalys av återstående alternativ	30
Aspekter att beakta vid fördjupad studie av alternativet	34
3. Utformningen av skyddsport i Göteborgsgrenen	37
Nuvarande situation	38
Operationell konceptbeskrivning (OCD)	43
Inventering av funktioner och aspekter	43
Krav och kriterier	44
Identifiering och verifiering av utformningsalternativ	44
Multikriterieanalys av återstående alternativ	52
Fördjupad studie av föreslaget skyddsportsalternativ	54
Kostnader	59
Översikt och arkitektoniskt förslag	59
Aspekter att beakta och osäkerhetsfaktorer	62
4. Utformningen av skyddsport i nordre älvgrenen	67
Nuvarande situation	68
Operationell kontextbeskrivning (OCD)	72
Inventering av funktioner och aspekter	72
Lokalisering av skyddsport i Nordre älvgrenen	73
Krav och kriterier	75
Identifiering och verifiering av utformningsalternativ	75
Multikriterieanalys av återstående alternativ	80
Fördjupad studie av föreslaget skyddsportsalternativ	82
Kostnader	86
Översikt och arkitektoniskt förslag	87
Aspekter att beakta och osäkerhetsfaktorer	90
5. Kostnadsuppskattning	93
Bilaga 1	Krav- och verifieringstabell
Bilaga 2	Trade-off matrix för huvudplanering av skyddsportar
Bilaga 3	Information om portstrukturenas vattendjup
Bilaga 4	Erforderliga dimensioner för vattenvägar
Bilaga 5	Alternativ portlösning för Göta älv
Bilaga 6	Data över högvattentillfälle under stormen Gudrun
Bilaga 7	Lagrings- och pumpkapacitet
Bilaga 8	Skiss för lösning vid Jordfallsbron
Bilaga 9	Kostnadsbedömning av skyddsportssystemet
Bilaga 10	Numerisk modellering av konsekvenser i Göta älv

Förord

Denna förstudie har genomförts på uppdrag av Stadsbyggnadskontoret, Göteborgs stad. Projektet har genomförts med Sweco som processledare, där Arcadis, SMHI och DHI har fungerat som underkonsulter till Sweco.

Föreliggande rapport har tagits fram av en arbetsgrupp där Henry Tuin (Arcadis) varit huvudansvarig för rapportskrivandet. I övrigt bestod arbetsgruppen i huvudsak av följande personer:

- Mats Andréasson, Sweco; Projektansvarig
- Geert Schaap, Sweco; Uppdragsledare
- Henrik Bodin-Sköld, Sweco; Biträdande uppdragsledare
- AnnLouise Elliot, Sweco; Teknikansvarig - Geoteknik och grundläggning
- Per Ahlenius, Sweco; Teknikansvarig - Miljö
- Svante Roupé, Sweco; Expert/specialist inom hamn och kusthydraulik
- Ulf Ranhagen, Sweco; Nyckelkompetens inom gestaltning
- PeGe Hillinge, Sweco; Nyckelkompetens inom gestaltning
- Henrik Fogelklou, Sweco; Nyckelkompetens inom gestaltning
- Hessel Voortman, Arcadis; Teknikansvarig - Hydrauliska konstruktioner
- Marianne van Lochem, Arcadis; Ansvarig - Gestaltning
- Anton van Kooij, Arcadis; Expert inom mekaniskt ingenjörskap
- Anna Karlsson, DHI; Expert inom hydrologisk modellering
- Sten Bergström, SMHI; Klimatexpert
- Signild Nerheim, SMHI; Expert/specialist inom oceanografi

Därtill har flera personer från Sweco, Arcadis och SMHI varit involverade i projektprocessen.

Bakgrunden till projektet är att Göteborgs stad måste kunna skyddas mot framtida stormar och stigande hav. Projektets huvudsakliga syfte har varit att göra en förstudie av hur staden kan klimatsäkras genom att bygga skyddsportar vid lämpligt utvalda platser i Göta älv; i Nordre älv uppströms samt vid Älvsborgsbron nedströms i älven.

1. Inledning

Bakgrund

Göteborg stad ligger relativt lågt och är därför hotad av översvämningar från stigande havsnivåer. Havet kan ta sig in mot staden i huvudsak via två flödesvägar; Göta älvs utlopp samt Nordre älvs utlopp. Dessa två flödesvägar (från havet och från Göta älv) måste kunna kontrolleras genom en samordnad skyddsstrategi och skyddsportarna måste fungera synkroniserade med varandra för att åstadkomma ett säkert och effektivt översvämningsskydd.

Uppdraget

Göteborgs Stads Stadsbyggnadskontor (SBK) anförtrodde Sweco Environment AB uppdraget att genomföra en förstudie av yttre skyddsportar i Göteborg. ARCADIS, SMHI och DHI deltog i projektet som underkonsult till Sweco.

Rapportstruktur

Kapitel 2 till 4 är indelade enligt följande struktur;

- Kapitel 2 – Huvudplan för skyddsportar
- Kapitel 3 – Utformning av skyddsport i Göteborgsgrenen
- Kapitel 4 – Utformning av skyddsport i Nordre älvgrönen

Utredning och utvärdering av skyddsportsalternativen är strukturerad enligt "the principles of systems engineering" (www.incose.org). Kapitel 3-4 beskriver därför följande;

- Beskrivning av nuvarande förhållanden
- Operationell konceptbeskrivning (OCD)
- Inventering av funktioner och aspekter
- Krav och kriterier
- Identifiering och verifiering av utformningsalternativ
- Multikriterieanalys av återstående alternativ
- Fördjupad studie av valt lösningsalternativ
- Översikt och arkitektoniska aspekter
- Aspekter att beakta samt osäkerheter

En kostnadsbedömning av skyddsportssystemet har genomförts, vilken redovisas i Bilaga 9.

Hänvisningar

Rapporten är baserad på information från följande källor:

- Offert för förstudie: *Yttre portar mot havet för att skydda mot översvämning vid hög havsnivå (2014-05-15)*.
- Startmöte/Workshop 1 tillsammans med SBK, SMHI och DHI på Sweco den 6 oktober 2014.
- Informationsmöte med Göteborgs Hamn samt Sjöfartsverket 24 oktober 2014.
- Arbetsmöten och workshop tillsammans med SBK, Arcadis, SMHI och DHI den 27–31 oktober 2014. Under denna vecka anordnades dessutom studiebesök vid Älvsborgsbron, Jordfallsbron samt Ormoskärmen utanför Kungälv.
- Informationsmöte med Vattenfall 5 november 2014.

Kompletterande information har erhållits från:

- Vattenfall
- GRYAAB
- DHI
- SMHI
- Göteborgs Stads Stadsbyggnadskontor
- Lantmäteriet

Avgränsningar

Den geografiska avgränsningen täcker in Göta älvs sträckning från Vänern via förgreningen uppströms Jordfallsbron och älvens respektive utlopp i Nordre och Göta älv. I rapporten avses med benämningen "Göta älv" hela älvens sträcka från Vänern och ut i de två utloppen. I samband med lokalisering av skyddsportar används benämningarna:

- "Göteborgsgrenen" för älvens sträckning från förgreningen till utloppet vid Älvsborgsbron.
- "Nordre älvgrene" för sträckan mellan förgreningen till utloppet i Nordre älv.

I första hand avser portarna att skydda Göteborgs samhälle mot översvämningar. Eftersom även Vänern och hela älvmrådet nedströms Vänern ingår i det hydrologiska systemet, berörs samtliga kommuner runt Vänern samt kommuner längs älvens sträcka ut mot havet.

Den tidsmässiga avgränsningen innefattar att de två portarna ska kunna skydda staden mot de vattennivåer som förväntas kunna inträffa år 2150.

Gällande avgränsning i sak, har förstudien begränsats till följande aspekter:

- Utformning av yttre skydd i Göta älv samt Nordre älv
- För- och nackdelar med olika lokaliseringar
- Framtagande av teknisk beskrivning av respektive skydd
- En uppskattning av kostnader för projektering, byggnation samt drift
- Identifiering av hur påverkan på sjöfart kan minimeras
- För och nackdelar med andra eventuella funktioner (vattenutbyte, trafik på land) som dessa portar kan ge.
- Motiv för vald lösning
- Yta och placering av ett eventuellt besökscenter vid porten i Göta Älv
- Identifiering av miljökrav som ställs i den här typen av projekt samt möjliga intressekonflikter för en miljöprövning.
- Identifiering av eventuella utmaningar/förutsättningar (Ryaverkets utsläppspunkt, framtida kajbehov mm, samt geotekniska förhållanden terrängstöd på land etc.)
- Översiktlig beskrivning av driftskedet, skydd för att förhindra påkörande båtar, eventuell pumpkapacitet, sabotagerisker, konstruktioner på botten av Älven, kraftförsörjning, redundans i systemen osv.
- Identifiering av hur skydden kan ge ett tillskott/mervärde till landskaps-, stadsbilden.

Som option har ett arbete genomförts av DHI, där en översiktlig analys och beskrivning har gjorts av konsekvenser nedströms i Nordre Älv då flödet helt eller delvis avleds via denna förgrening. Denna studie redovisas separat.

2. Huvudplan för skyddsportar

För att kunna utforma skyddsportar i Göta älv samt i Nordre älv, måste utformningsprocessen först genomföras på en "deltanivå". Skyddsportsutformningen på en deltanivå omnämns i denna rapport som huvudplan för skyddsportar.

I denna huvudplaneringsfas har ett antal val av utformningsalternativ gjorts, främst gällande:

- Definition av operationell konceptbeskrivning av skyddsportsystemet för Göta älv.
- Definition av funktioner i skyddsportsystemet för Göta älv (definition av funktioner för respektive port).
- Definition av krav i skyddsportsystemet för Göta älv (definition av funktioner för respektive port).

En tolkning av vilken detaljnivå som tillämpas i huvudplaneringsfasen framgår nedan i figur 1.



Figur 1. Huvudplan för skyddsportar, i vilken alfaflödet i Göta älv framgår.

Nuvarande förhållanden

- Inga skyddsportar finns anlagda i Göta älv
- Vid ett högvattentillfälle sker följande;
 - Höga vattennivåer orsakade av stormar från havet
 - Omfattande avrinning från vattensystem uppströms
 - Återkommande problem med översvämning i tätbebyggda områden
- Göta älv delas i en förgrening uppströms Jordfallsbron, utan förekomst av skyddsportar, upp i en "Göteborgsgren" respektive "Nordre älvgren".

Inventering av funktioner och aspekter

- Flödeskapacitet i de respektive älvgrenarna
- Flödestillskott från uppströms belägna sjöar
- Sjöfartspassager vid portarna
- Skydd mot stormflöden från havet
- Skydd mot högflödestillfällen i tillrinnande vattendrag
- Bibehålla den minsta tillåtna vattennivån som gäller under normala förhållanden samt stormtillfällen.
- Bibehålla den maximalt tillåtna vattennivån som gäller under normala förhållanden samt stormtillfällen.
- Arkitektur
- Miljöaspekter

Krav

De krav som varit styrande under huvudplaneringsfasen finns samlade i Bilaga 1. Kraven är tilldelade respektive av följande objekt:

Skyddsportsystemet för Göteborg

- A. Skyddsport i Nordre älv
- B. Skyddsport vid Älvsborgsbron
- C. Förgreningen vid Jordfallsbron

Identifiering av utformningsalternativ

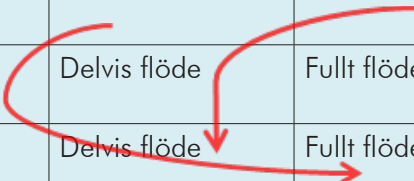
Stormflöden från havet samt omfattande avrinning från uppströms belägna sjöar kan avledas från Göteborgs stad genom att använda något av de olika möjliga skyddsportsystemen. För att kunna utreda vilka möjligheter som finns tillgängliga, tas olika varianter fram utifrån en morfologisk kartläggning. Syftet med den morfologiska kartan är att utreda den lämpligaste lösningen för en komplex utformning. Flera alternativ för respektive element inom ramen för projekt är inkluderade. Den morfologiska kartan för huvudplaneringsfasen presenteras i nedanstående tabeller.

"Byggblock"		Alternativ	
Reglering vid Vänern	Inget flöde	Delvis flöde	Fullt flöde
Nedströms i Göteborgsgrenen	Inget flöde	Delvis flöde	Fullt flöde
Nedströms i Nordre älvgrenen	Inget flöde	Delvis flöde	Fullt flöde

Tabell 1. Morfologisk karta för huvudplaneringsfasen

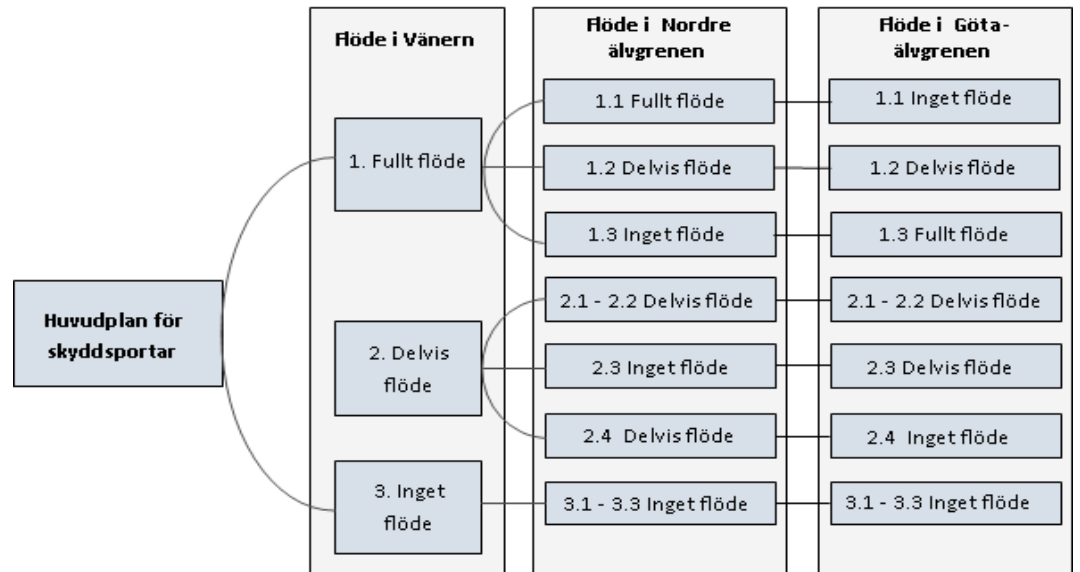
Varianter har framarbetats genom att välja ut ett alternativ för respektive "byggblock", vilka presenteras i nedan tabell.

"Byggblock"		Alternativ	
Reglering vid Vänern	Inget flöde	Delvis flöde	Fullt flöde
Nedströms i Göteborgsgrenen	Inget flöde	Delvis flöde	Fullt flöde
Nedströms i Nordre älvgrenen	Inget flöde	Delvis flöde	Fullt flöde

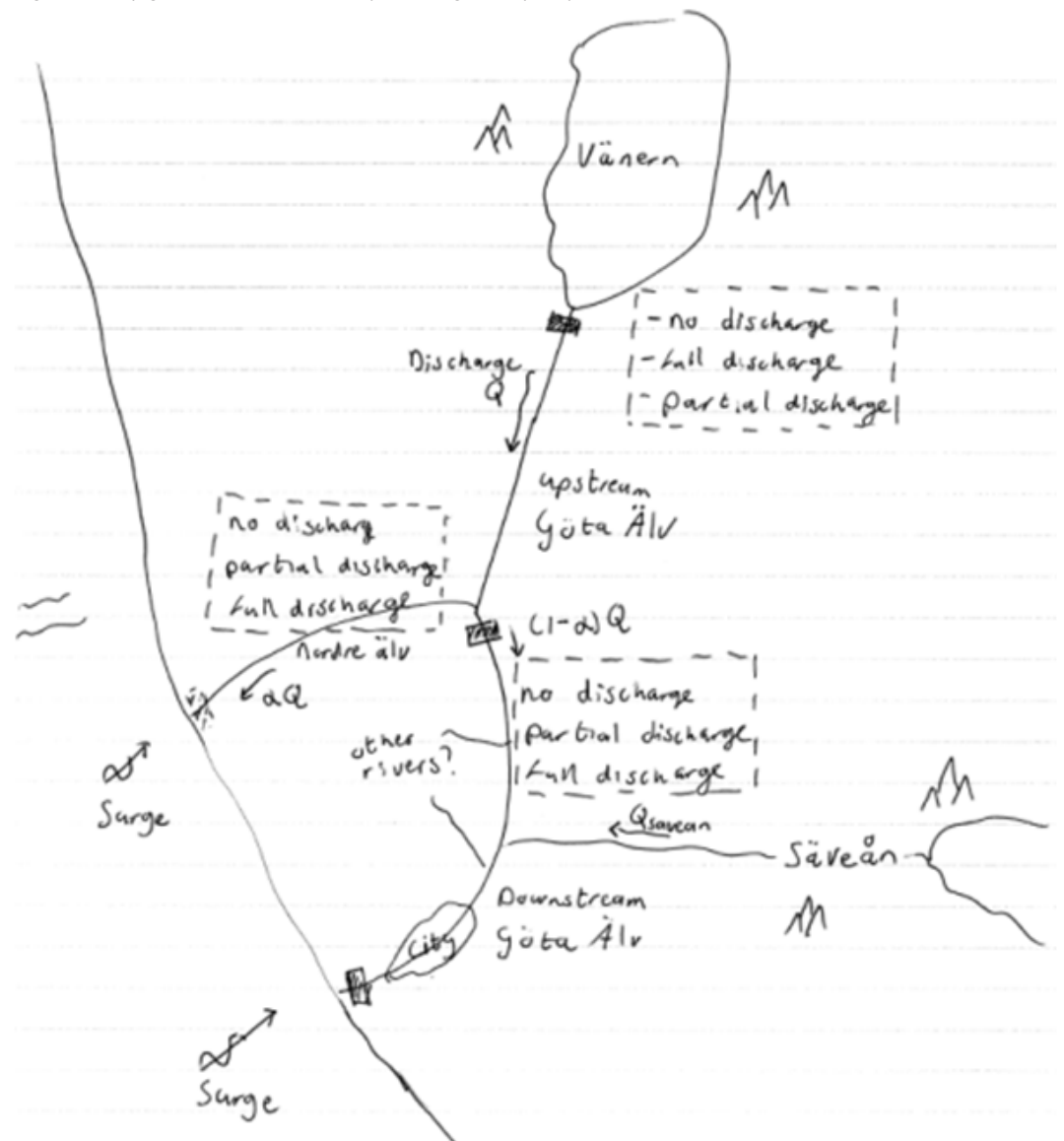


Tabell 2. Urval av alternativ i den morfologiska kartan.

Ett flertal alternativ finns tillgängliga, vilket framgår ovan. För att kunna strukturera urvalsprocessen, presenteras varianter per "tema". Varianterna som presenteras nedan i figur 2 och figur 3 och har valts utifrån den morfologiska kartan. De olika varianterna är vidare indelade i tre olika lösningskategorier, se sid. 18.



Figur 2. Möjliga varianter för huvudplanering av skyddsportar.



Figur 3. Utformningsalternativ för huvudplanering av skyddsportar, vilken visar alfaflödet i Göta älv (Arcadis, 2014).

Variant 1.3 - Inget flöde i Nordre älvgrenen, fullt flöde genom Göteborgsgrenen

En skyddsport förläggs uppströms i Nordre älvgrenen och avleder allt vatten till Göteborgsgrenen. En ytterligare skyddsport vid Göteborgsgrenens mynning hindrar stormflöden mot Göteborg.

Lösning 2: Delvis flöde från vänern

Den andra lösningskategorin innefattar varianter av "delvis flöde från Vänern". För denna typ av lösningar krävs att en överenskommelse upprättas med dammoperatörer uppströms i Göta älv samt vid Vänern, vilken därefter ska gälla under stormförhållanden. Följande varianter ingår i denna kategori:

Variant 2.1 - Delvis flöde i Nordre älvgrenen, delvis flöde i Göteborgsgrenen

En skyddsport som fungerar som ett dämme avleder en del av älvflödet till Nordre älvgrenen. Övrigt flöde avleds till Göteborgsgrenen.

Denna variant kan tillämpas när Nordre älvgrenens flödeskapacitet är begränsad och överskottet av vatten måste magasineras bakom skyddsporten i Göteborgsgrenen.

Variant 2.2 - Delvis flöde i Nordre älvgrenen, delvis flöde i Göteborgsgrenen

En skyddsport som fungerar som ett dämme avleder en del av älvflödet till Nordre älvgrenen. Övrigt flöde avleds till Göteborgsgrenen.

Denna variant kan tillämpas när Nordre älvgrenens flödeskapacitet är begränsad och överskottet av vatten måste magasineras bakom skyddsporten i Göteborgsgrenen.

Den vattenmängd som inte kan magasineras måste pumpas eller slussas ut vid skyddsporten i Göteborgsgrenen, vilket framgår i figur 4.

Variant 2.3 - Inget flöde i Nordre älvgrenen, delvis flöde i Göteborgsgrenen

En skyddsport uppströms i Nordre älvgrenen avleder allt vatten till Göteborgsgrenen. En ytterligare skyddsport i Göteborgsgrenens utlopp hindrar stormflöden mot Göteborg.

Variant 2.4 - Delvis flöde i Nordre älvgrenen, inget flöde i Göteborgsgrenen

En skyddsport nedströms i Göta älv avleder vatten till Nordre älvgrenen. En ytterligare skyddsport i Göteborgsgrenens utlopp hindrar stormflöden mot Göteborg.

Lösning 3: Inget flöde från vänern

I en tredje kategori av lösningar utreds varianter där inget flöde sker från Vänern till Göta älv. För denna typ av lösningar krävs att en överenskommelse med dammoperatörer uppströms i Göta älv samt vid Vänern upprättas, vilken därefter ska gälla under stormförhållanden. Följande varianter ingår i denna kategori:

Variant 3.1 - Inget flöde i Nordre älvgrenen, inget flöde i Göteborgsgrenen

Variant 3.1.1

En skyddsport i förgrening Göta/Nordre älv avleder det återstående vattenflödet till Nordre älvgrenen och avleder även stormflödet som flödar uppströms genom Nordre älvgrenen. En ytterligare skyddsport i Göteborgsgrenens utlopp hindrar stormflöden mot Göteborg.

Variant 3.1.2

En skyddsport i Nordre älvgrenens mynning, eller uppströms i älven, avleder stormflödet vid Nordre älv. En ytterligare skyddsport i Göteborgsgrenens utlopp hindrar stormflöden mot Göteborg.

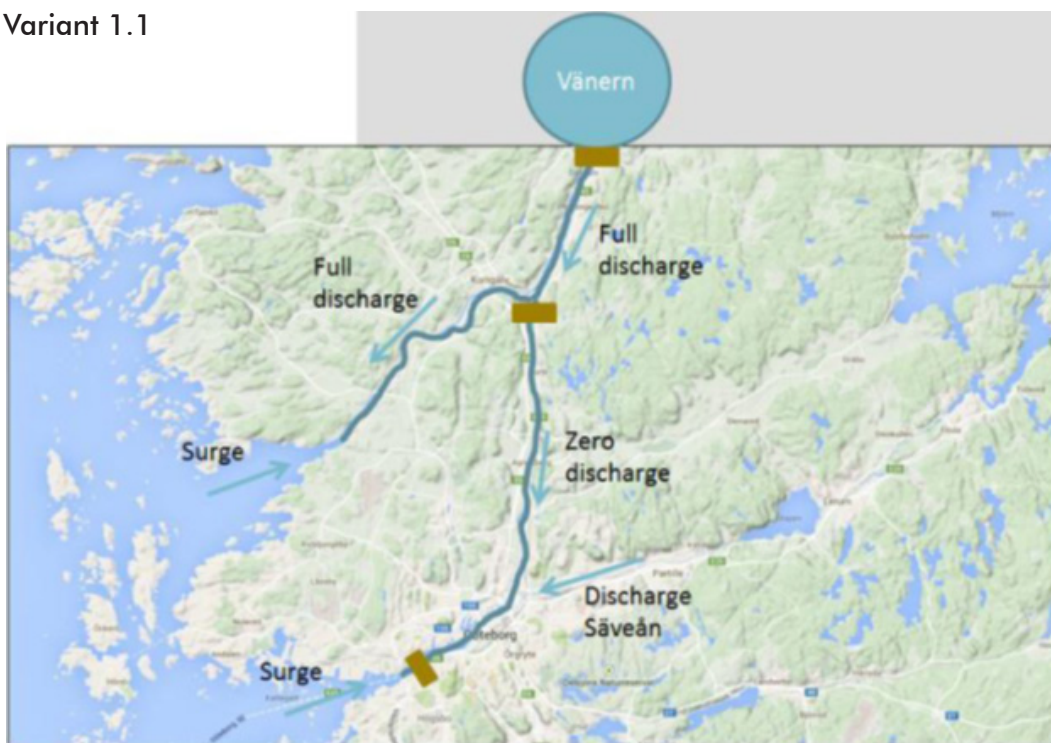
Variant 3.1.3

En skyddsport i mynningen av Göteborgsgrenen hindrar stormflöden från att nå Göteborg. Ingen skyddsport anläggs i Nordre älvgrenen.

Operationell kontextbeskrivning av varianter (OCD)

I detta kapitel presenteras en visualisering samt en operationell kontextbeskrivning av samtliga varianter som listats i föregående kapitel.

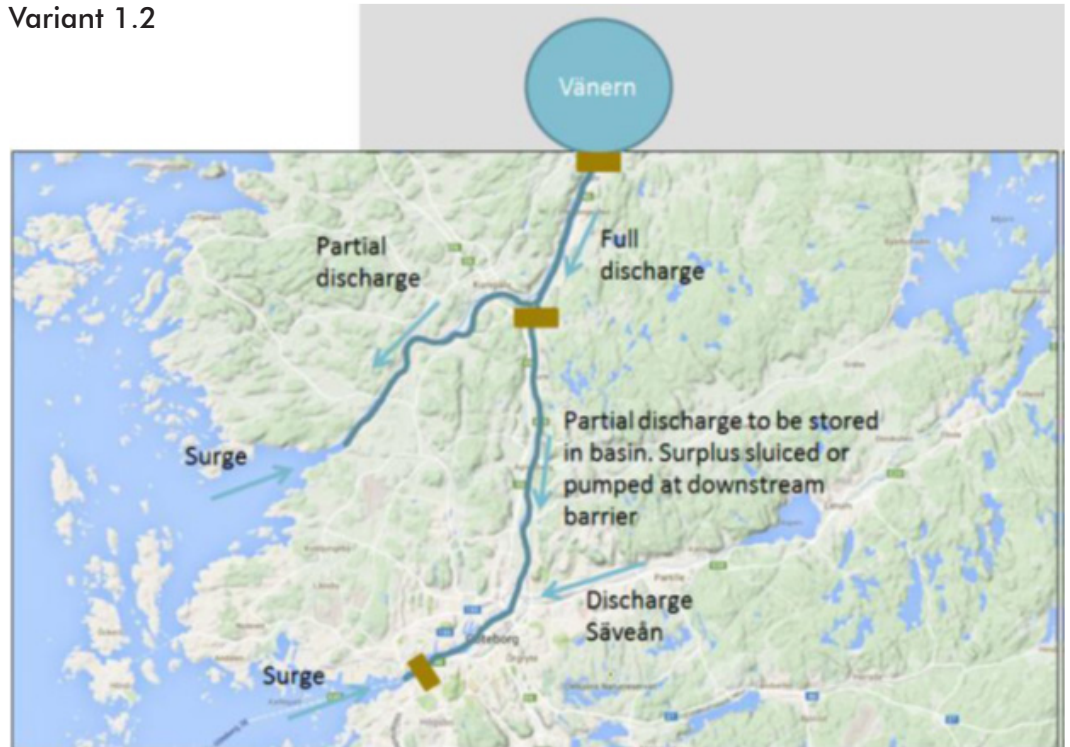
Variant 1.1



Figur 5. Variant 1.1

- Fullt flöde till Göta älvs uppströms delar
- Vid förgreningen avleds allt flöde till Nordre älvgrenen via en skyddsport
- Inget flöde till Göteborgsgrenen
- En ytterligare skyddsport hindrar översvämning vid Göteborgsgrenens mynning

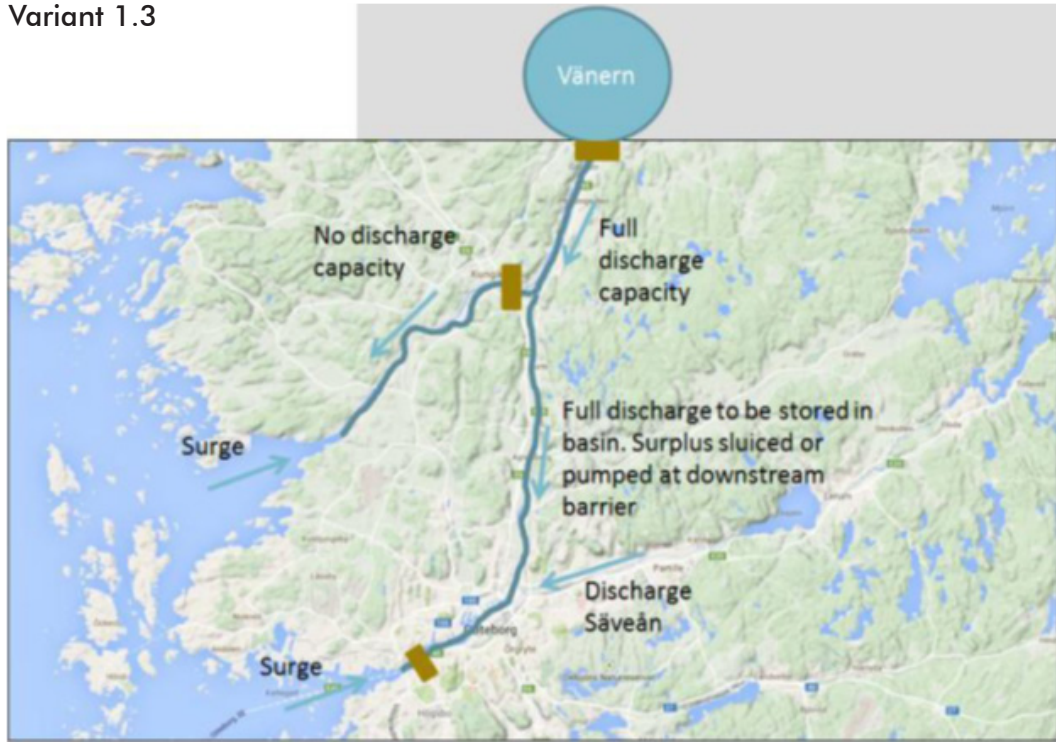
Variant 1.2



Figur 6. Variant 1.2

- Fullt flöde till Göta älvs uppströms delar
- Skyddsporten vid förgreningen fungerar som en sluss; Vid förgreningen avleds flödet delvis till Nordre älvgrenen via en skyddsport samtidigt som porten avleder stormflödet till Nordre älvgrenen. Övrigt flöde färdas "genom" skyddsporten till Göteborgsgrenen.
- Den vattenmängd som leds till Göteborgsgrenen måste magasineras inom arean mellan skyddsportarna.
- En ytterligare skyddsport avleder stormflödet vid Göteborgsgrenens mynning
- Överskottet av vatten som inte kan magasineras måste pumpas eller slussas ut från skyddsporten i Göteborgsgrenen.

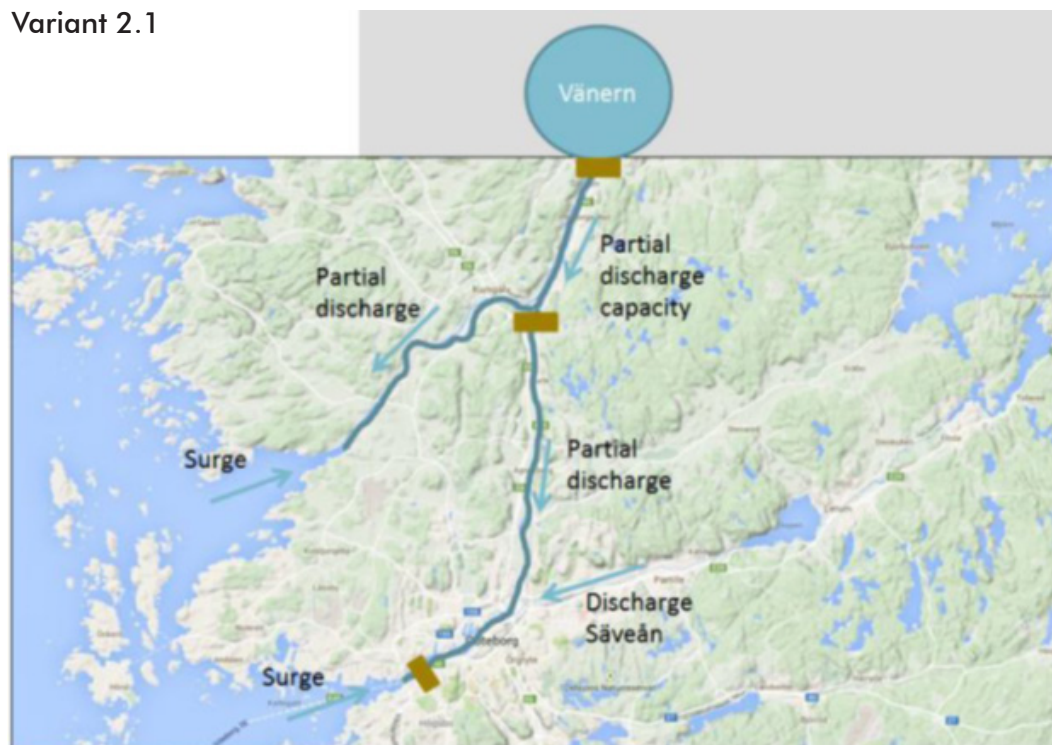
Variant 1.3



Figur 7. Variant 1.3

- Fullt flöde till Göta älvs uppströms delar
- En skyddsport uppströms i Nordre älvgrenen avleder stormflödet som flödar uppströms mot förgreningen.
- En ytterligare skyddsport avleder stormflöden vid Göteborgsgrenens mynning
- Ett fullt vattenflöde från Vänern flödar till Göta älv och måste kunna magasineras. Överskottet av vatten som inte kan magasineras måste pumpas eller slussas ut från skyddsporten i Göteborgsgrenen.

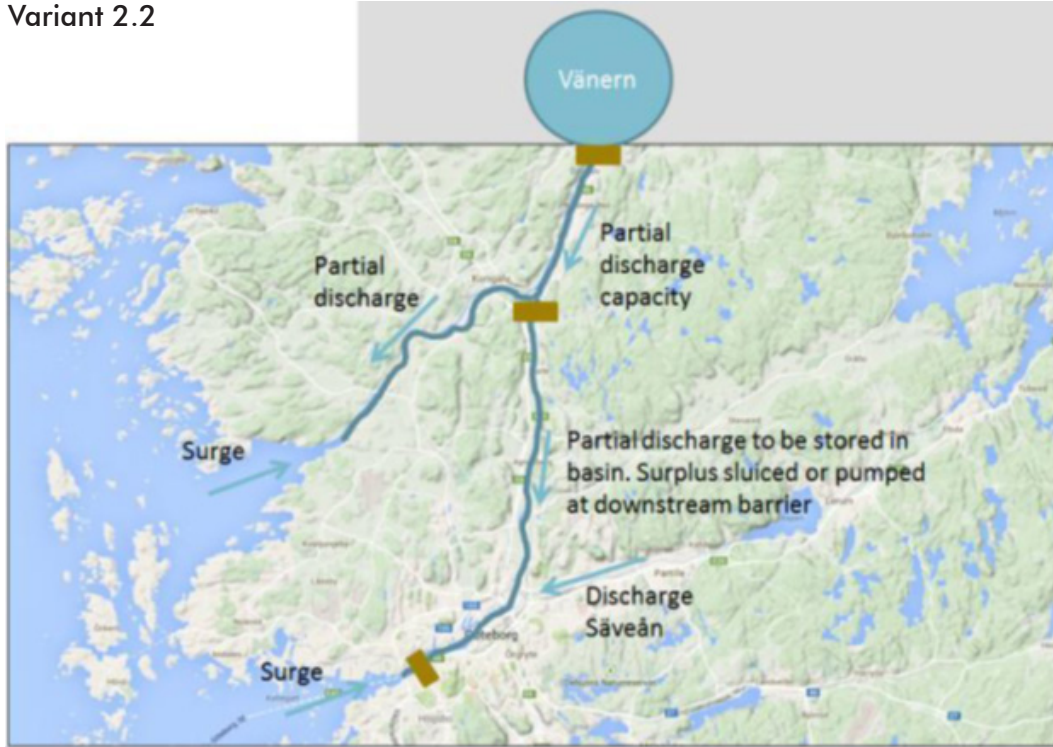
Variant 2.1



Figur 8. Variant 2.1

- Flödesvolymen regleras vid tappning i Vänern
- Skyddsporten vid förgreningen fungerar som en sluss; Vid förgreningen avleds flödet delvis till Nordre älvgrenen via en skyddsport samtidigt som porten avleder stormflödet till Nordre älvgrenen. Övrigt flöde färdas "genom" skyddsporten till Göteborgsgrenen.
- Den vattenmängd som leds till Göteborgsgrenen måste magasineras inom arean mellan skyddsportarna.
- En ytterligare skyddsport avleder stormflöden vid Göteborgsgrenens mynning

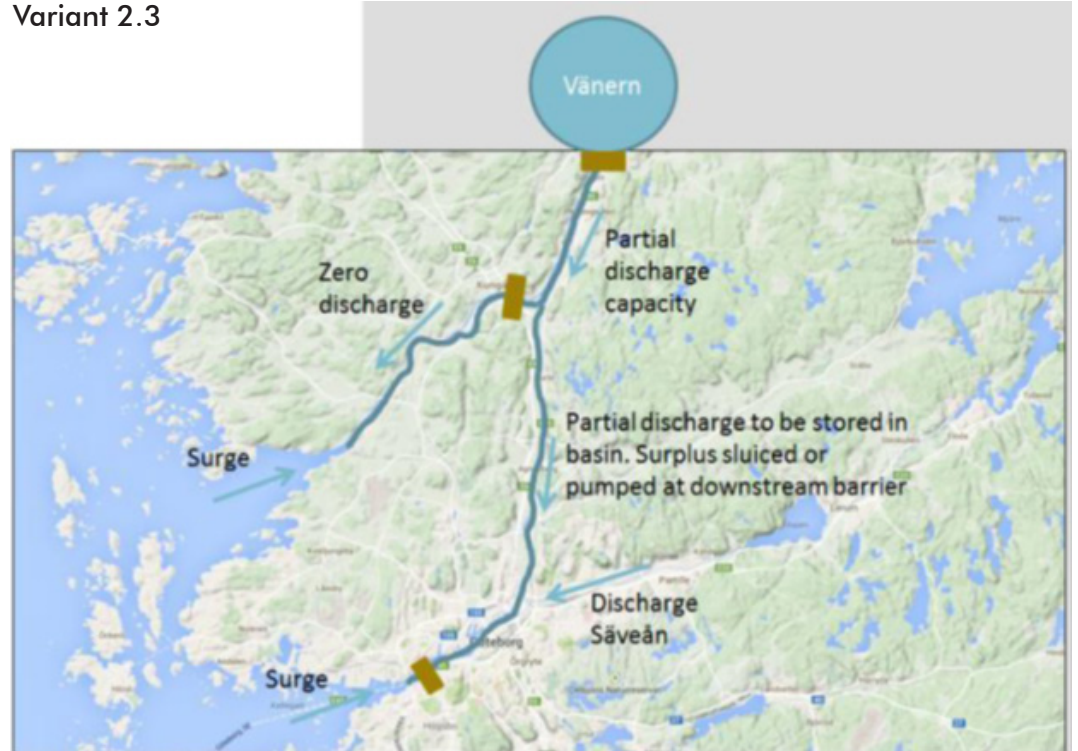
Variant 2.2



Figur 9. Variant 2.2

- Flödesvolymen regleras vid tappning i Vänern
- Skyddsporten vid förgreningen fungerar som en sluss; Vid förgreningen avleds flödet delvis till Nordre älvgrenen via en skyddsport samtidigt som porten avleder stormlödet till Nordre älvgrenen. Övrigt flöde färdas "genom" skyddsporten till Göteborgsgrenen.
- Den vattenmängd som leds till Göteborgsgrenen måste magasineras inom arean mellan skyddsportarna. Överskottet av vatten som inte kan magasineras måste pumpas eller slussas ut.
- En ytterligare skyddsport avleder stormflöden vid Göteborgsgrenens mynning

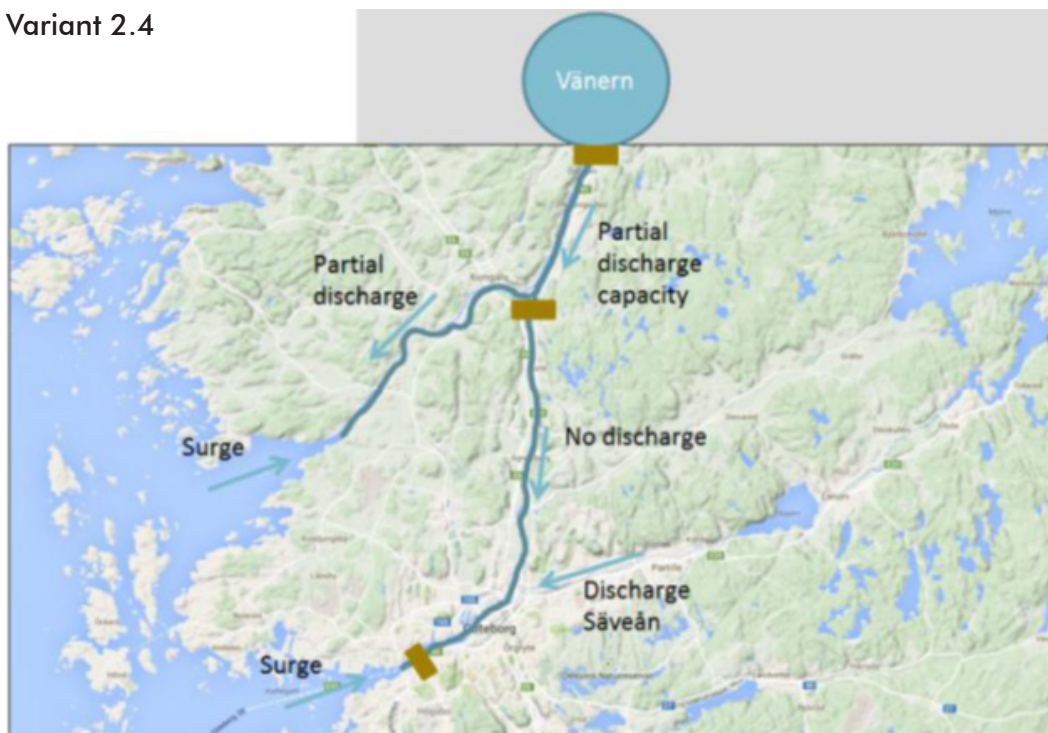
Variant 2.3



Figur 10. Variant 2.3

- Flödesvolymen regleras vid tappning i Vänern
- En skyddsport uppströms i Nordre älvgrenen avleder stormflödet som flödar uppströms mot förgreningen.
- En ytterligare skyddsport avleder stormflöden vid Göteborgsgrenens mynning
- Det fulla flödet som släpps från Vänern måste magasineras inom arean mellan skyddsportarna. Överskottet av vatten som inte kan magasineras måste pumpas eller slussas ut.

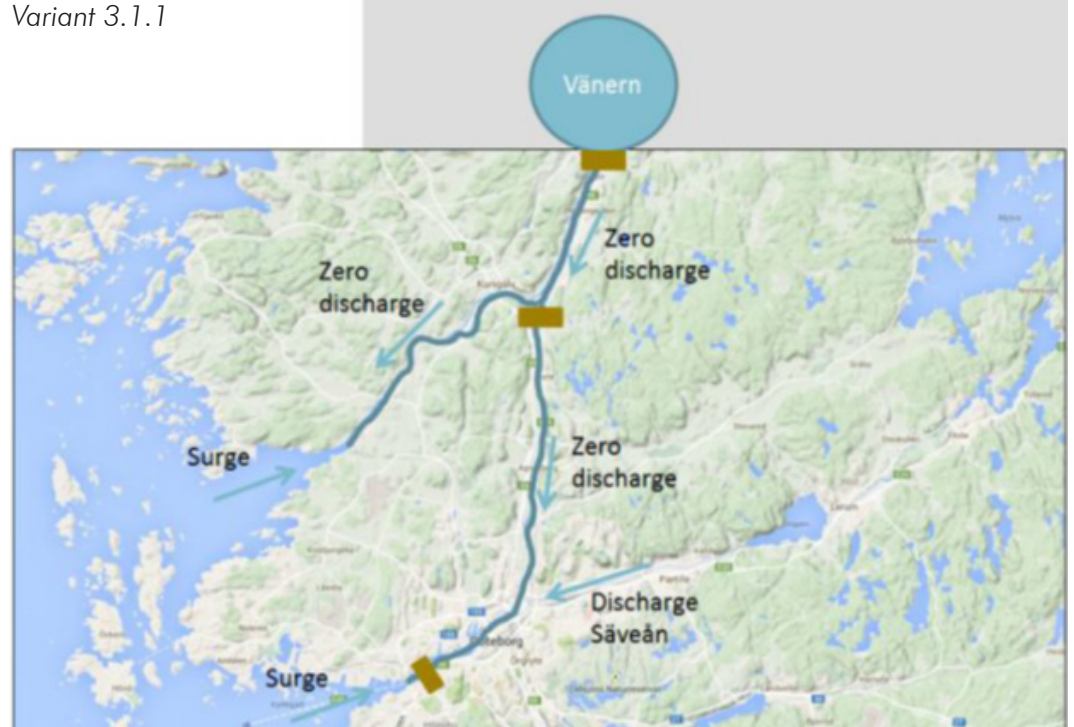
Variant 2.4



Figur 11. Variant 2.4

- Flödesvolymen regleras vid tappning i Vänern
- Skyddsporten vid förgreningen avleder flödet i älven samt stormflödet från havet
- En ytterligare skyddsport avleder stormflöden vid Göteborgsgrenens mynning

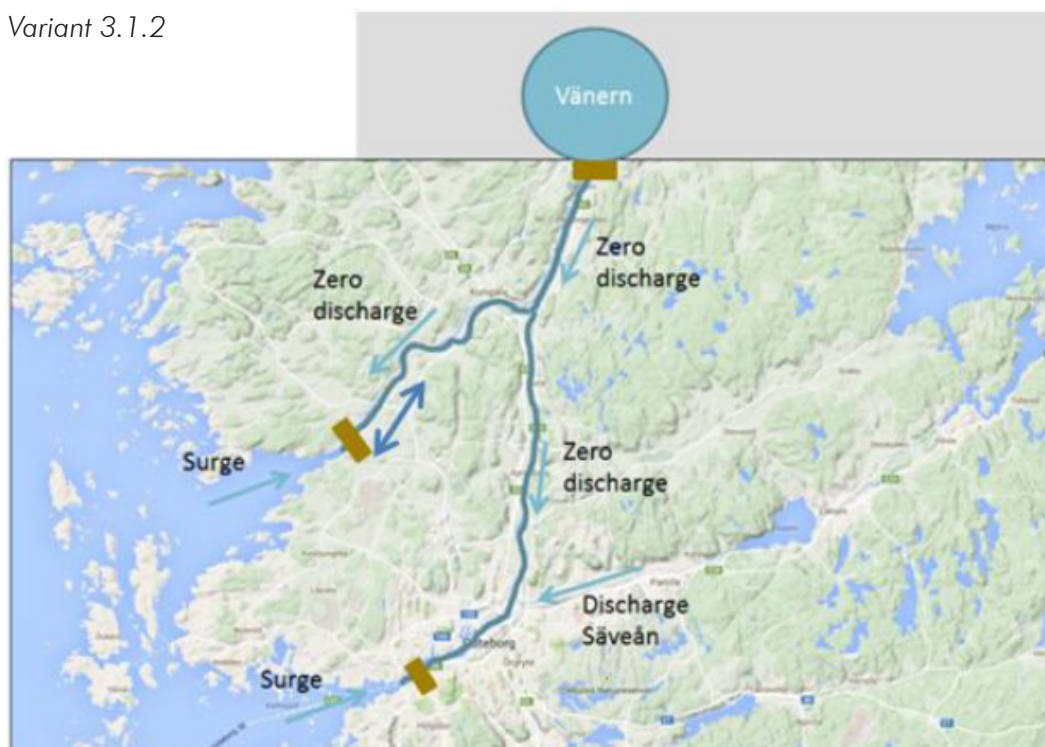
Variant 3.1.1



Figur 12. Variant 3.1.1

- Dämnet vid Vänern är helt stängt och inget vatten flödar till Göta älvs uppströms liggande delar.
- Skyddsporten vid förgreningen avleder stormflödet som flödar till Nordre älvgrenen.
- En ytterligare skyddsport avleder stormflöden vid Göteborgsgrenens mynning

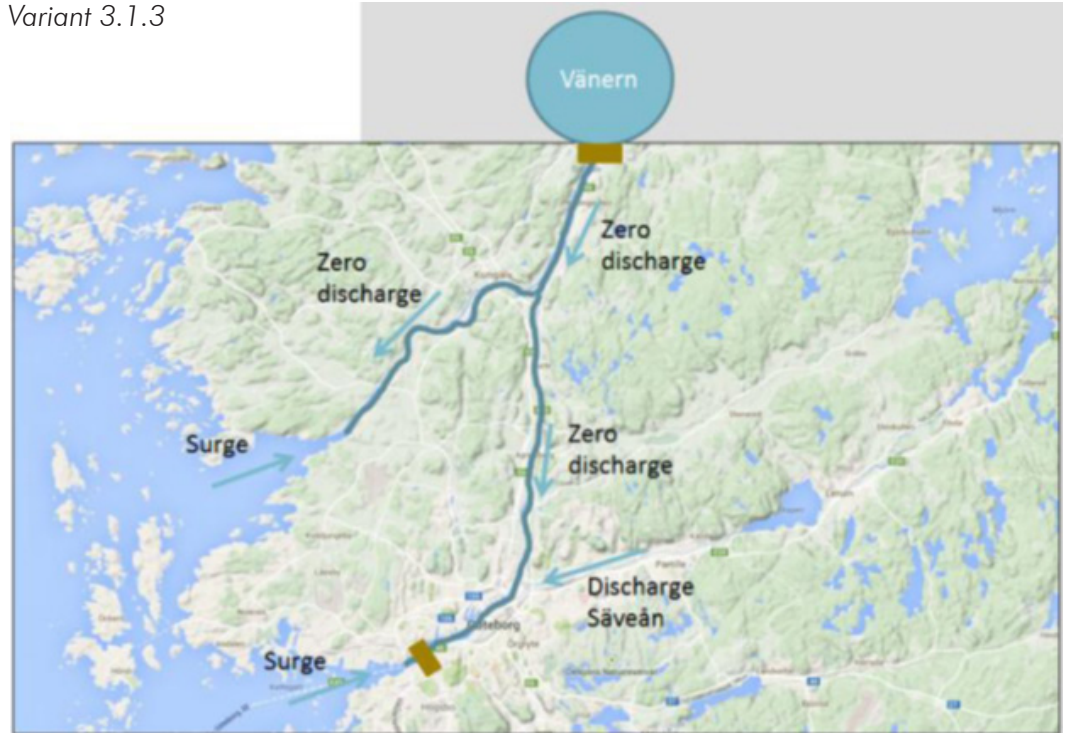
Variant 3.1.2



Figur 13. Variant 3.1.2

- Dämnet vid Vänern är helt stängt och inget vatten flödar till Göta älvs uppströms liggande delar.
- Skyddsporten vid förgreningen flyttas närmare Nordre älvgrenens utlopp (alt. mer uppströms) och avleder stormflödet.
- En ytterligare skyddsport avleder stormflöden vid Göteborgsgrenens mynning
- Även ett delvis flöde är möjligt för denna princip, vilket dock är beroende på vilken pumpkapacitet som kan uppnås.

Variant 3.1.3



Figur 14. Variant 3.1.3

- Dämnet vid Vänern är helt stängt och inget vatten flödar till Göta älvs uppströms liggande delar.
- En ytterligare skyddsport avleder stormflöden vid Göteborgsgrenens mynning
- Antagande: stormflödet når inte Göteborgs stad via Nordre älvgrenen

Multikriterieanalys av återstående alternativ

Alternativen bedöms med hjälp av en avvägningsmatris, en s.k. ("Trade-off matrix"). Denna matris utgörs av fyra sektioner:

- Krav (inkluderar krav som täcker in de huvudsakliga utformningsaspekterna)
- Kriterier
- Kostnader (se även Bilaga 9 Kostnadsbedömning)
- Sammanfattning

Ett exempel på en sådan avvägningsmatris visas i tabell, figur 15.

Utvärdering av avvägningsmatrisen

Avvägningsmatrisen finns inkluderad i Bilaga 2. Resultaten sammanfattas nedan.

Lämpligast alternativ för "fullt flöde från Vänern

Inget av alternativen uppfyller kriterierna. Varianter som inkluderar ett fullt flöde från Vänern bedöms inte lämpliga.

Lämpligast alternativ för "delvis flöde från Vänern

Variant 2.4 när;

- Flödet från Sävveån är begränsat eller kan magasineras med tillräcklig kapacitet eller kan pumpas ut vid skyddsporten.
- Den delvisa flödeskapaciteten från Vänern är samma eller lägre, med hänsyn till Nordre älvgrenens flödeskapacitet för respektive havsnivå.
- Kvillebäcken kan fungera som en "genväg" mellan Nordre älvgrenen och Göteborgsgrenen; Inget vatten flödar till Göteborgsgrenen när bäddnivån i Kvillebäcken är högre än den maximala vattennivån i Nordre älvgrenen under ett stormflöde. Vatten flödar till Göteborgsgrenen när bäddnivån i Kvillebäcken är lägre än det maximala flödet i Nordre älvgrenen under ett stormflöde. I det senare fallet bör en mindre skyddsport anläggas i Kvillebäcken i syfte att stänga bäckens flöde vid behov.

Lämpligaste alternativ för "inget flöde från Vänern"

Variant 3.1.1 när;

- Flödet från Sävveån är begränsat eller kan magasineras med tillräcklig kapacitet eller kan pumpas ut vid skyddsporten.
- Flödeskravet vid Lilla Edet är ansatt till noll under ett stormflöde. Detta kräver en modifiering av kravet.
- Typflödesnivån i Nordre älvgrenen är lägre än den maximala bäddnivån i Kvillebäcken eller när en mindre skyddsport anläggs i Kvillebäcken.

Variant 3.1.2 när;

- Flödet från Sävveån är begränsat eller kan magasineras med tillräcklig kapacitet eller kan pumpas ut vid skyddsporten.
- Flödeskravet vid Lilla Edet är ansatt till noll under ett stormflöde. Detta kräver en modifiering av kravet.
- Skyddsporten i Nordre älvgrenen placeras på nedströms sida om Kvillebäcken, eller när typflödesnivån i Nordre älvgrenen är lägre än den maximala bäddnivån i Kvillebäcken, eller när en mindre skyddsport anläggs i Kvillebäcken.

Trade-off Matrix 'Storm Surge Masterplanning'						
Variant		Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant x	
Block 1: requirements		Block 1: Fill in: "Fulfills / Fulfills not / Fulfills when..."				
Req 1	Requirement text					
Req 2	Requirement text					
Etc.	Etc.					
Conclusion of block 1:		Final conclusion	Final conclusion	Final conclusion	Final conclusion	
Block 2: Criteria		Only required when the conclusion of Block 1 = 'satisfies or satisfies when...' Fill in: -2 (very bad) -1 (bad) 0 (average) +1 (good) +2 (very good)				
Crit 1	Criteria text					
Crit 2	Criteria text					
Etc.	Etc.					
Conclusion of block 2		Final score	Final score	Final score	Final score	
Block 3: Costs		Fill in: -2 (very expensive) -1 (expensive) 0 (average) +1 (cheap) +2 (very cheap)				
Qualitative costs for design						
Qualitative costs for construction						
Qualitative costs for maintenance						
Block 4: Final conclusion/ranking		Fill in: final conclusions of Block 1, Block 2 and Block 3.				
Requirements						
Measures of Effectiveness						
Qualitative costs for design						
Qualitative costs for construction						
Qualitative costs for maintenance						
Conclusion/ranking		Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	

Figur 15. Exempel på avvägningsmatris (trade-off matrix).

Operationell kontextbeskrivning (OCD) av variant 2.4

Stormflödesstrategi Göteborg

1. En stormvarning går ut från SMHI
2. Sjöfarten varnas och stoppas
3. Övriga berörda verksamheter/personer varnas
4. Dammoperatörerna vid Vänern samt vid sjöar uppströms Säveån (Aspen/Mjörn) varnas; några dagar innan stormen når Göteborg bör operatörerna se till att öka magasineringsskapaciteten genom att slussa ut en viss mängd vatten, och därigenom begränsa Göta älvs och Säveåns flöden under stormen.
5. Innan skyddsportarna stängs, säkerställer dammoperatörer att flödet från Vänern begränsas.
6. Innan skyddsportarna stängs, säkerställer operatörerna att flödet från sjöar uppströms Säveån begränsas.
7. Skyddsporten vid förgreningen stängs i syfte att avleda flödet till Nordre älvgrenen.
8. Skyddsporten vid Göteborgsgrenens utlopp stängs
9. Båda skyddsportarna är stängda och håller stormflödet ute
10. En pumpstation vid skyddsporten i Göteborgsgrenen aktiveras när en viss ansatt vattennivå överskrids till följd av flödet från Säveån.
11. Stormen har passerat Göteborg och skyddsportsystemet deaktiveras; skyddsporten i Göteborgsgrenen öppnas när nivån i älven och i havet är densamma, därefter öppnas skyddsporten vid förgreningen.
12. Sjöfarten informeras om situationen
13. Operatörerna vid Vänern samt vid sjöarna uppströms Säveån informeras, varvid normal drift kan återupptas.

Operationell kontextbeskrivning (OCD) av variant 3.1.2

Stormflödesstrategi Göteborg

1. En stormvarning går ut från SMHI
2. Sjöfarten varnas och stoppas
3. Övriga berörda verksamheter/personer varnas
4. Dammoperatörerna vid Vänern samt vid sjöar uppströms Säveån (Aspen/Mjörn) varnas; några dagar innan stormen når Göteborg bör operatörerna se till att öka magasineringsskapaciteten genom att slussa ut en viss mängd vatten, och därigenom begränsa Göta älvs och Säveåns flöden under stormen.
5. Innan skyddsportarna stängs, säkerställer dammoperatörer att flödet från Vänern begränsas.
6. Innan skyddsportarna stängs, säkerställer operatörerna att flödet från sjöar uppströms Säveån begränsas.
7. Skyddsporten i Nordre älvgrenen stängs i syfte att avleda flödet till Nordre älvgrenen.
8. Skyddsporten vid Göteborgsgrenens utlopp stängs
9. Båda skyddsportarna är stängda och håller stormflödet ute
10. En pumpstation vid skyddsporten i Göteborgsgrenen aktiveras när en viss ansatt vattennivå överskrids till följd av flödet från vattensystem uppströms.
11. Stormen har passerat Göteborg och skyddsportsystemet deaktiveras; skyddsporten i Göteborgsgrenen öppnas när nivån i älven och i havet är (nästintill) densamma, därefter öppnas skyddsporten i Nordre älvgrenen.
12. Sjöfarten informeras om situationen
13. Operatörerna vid Vänern samt vid sjöarna uppströms Säveån informeras, varvid normal drift kan återupptas.

Val av lösningsalternativ i huvudplaneringsfasen

När alternativet "inget flöde från Vänern" inte är genomförbart, är variant 2.4 det enda återstående alternativet. Av denna anledning väljs variant 2.4 ut för en mer detaljerad studie.

Variant 3.1.1 är den bäst lämpade varianten när "inget flöde från Vänern" är möjligt att genomföra. Detta med anledning av följande;

- Robustheten i variant 3.1.1 är större jämfört med 3.1.2. I det fall dammoperatörerna inte skulle lyckas minska flödet under ett stormtillfälle, kommer vattnet att flöda mot havet för variant 3.1.1. I fallet variant 3.1.2 skulle Göteborg då bli översvämmat.
- Kostnaderna för variant 3.1.1 är lägre jämfört med variant 3.1.2

Det är möjligt att välja variant 3.1.2 i syfte att översvämningssäkra en så stor yta som möjligt, inklusive Kungälv samhälle. Genom att tillämpa variant 3.1.1, uppnås ett liknande system som variant 2.4. Den extra kostnad som uppstår för variant 2.4 skulle vara jämförlig. Genom att välja variant 2.4 uppnås en större robusthet med anledning av dammregleringen i Vänern. Av denna anledning rekommenderas att välja variant 2.4.

Det slutliga valet av skyddsportalternativ har gjorts av Stadsbyggnadskontoret i samförstånd med DHI, SMHI, Arcadis och Sweco. I beslutsprocessen har alternativet med en skyddsport utanför Älvsborgsbron samt en skyddsport vid förgreningen/Jordfallsbron valts bort, dvs. varianterna 2.4 samt 3.1.1. Istället har ett alternativ med en skyddsport utanför Älvsborgsbron samt en skyddsport i Nordre älvgrenen (vid Ormoskärmen), dvs. variant 3.1.2. Detta beslut grundar sig inte på kostnadsmässiga eller vetenskapliga aspekter. Argumenten för det valda utformningsalternativet är följande:

- En skyddsport i Nordre älvgrenen förväntas få en större samhällelig acceptans, eftersom också Nordre älvgrenen samt uppströms liggande samhällen skyddas.
- Översvämningsskydd för både Göteborgsgrenen samt för Nordre älvgrenen ökar möjligheterna för en framtida statlig finansiering.
- Påverkan på omgivningen kring förgreningen vid Jordfallsbron reduceras, vilket är en fördel med tanke på områdets hydrauliska och utrymmesmässiga komplexitet.
- Det föreligger en hög risk för förekomst av förorenad mark i området kring Jordfallsbron, vilket skulle försvåra anläggandet av en skyddsport i området. En möjlig lösning är att anlägga en ytterligare skyddsport alternativt en kanal i området, men detta bedöms vara ofördelaktigt.
- En alternativ lösning med en s.k. "splitter dam" skulle kunna anläggas i området kring Jordfallsbron, men detta bedöms vara ofördelaktigt med anledning av de höga naturvärden som finns i området.
- Dammar/slussar som lokaliseras vid förgreningen bedöms påverka förutsättningarna för sjöfart negativt.
- En skyddsport i Nordre älvgrenen innebär även att befintlig järnväg och väg 45, vilka är av nationellt intresse, kan skyddas mot översvämningar.
- De geologiska förutsättningarna för att anlägga sidostöd till skyddsporten är betydligt sämre i området vid Jordfallsbron.
- En skyddsport vid Jordfallsbron skulle medföra att kompletterande skyddsvallar måste anläggas i anknypning till befintlig väg och järnväg på båda sidor.

Aspekter att bevaka vid fördjupad studie av alternativet

- Säkerheten för samhällen längs med Nordre älvgrenen:
Förhöjda havsvattennivåer och ett ökat flöde resulterar i högre vattennivåer i Nordre älvgrenen. Vattennivån i Nordre älvgrenen måste beräknas, utifrån ett antal olika vattenstånd i havet samt utifrån olika flödesnivåer. Utifrån dessa beräkningsresultat kan även det maximala flödet som kan släppas från Väneren beräknas, baserat på vattenståndet i havet.
- De negativa konsekvenserna av saltvatteninträngning som kan uppstå under låga flödesförhållanden i älven samt skyddsportens påverkan på saltvattenhalten.
- En hydraulisk analys måste genomföras för det valda alternativet:
Effekterna av en skyddsport i Göteborgsgrenen samt vattennivåer och flödesförhållanden som uppstår i samband med skyddsporten, måste bedömas för torrperioder, normala förhållanden samt för stormförhållanden.
- Stängningsfrekvensen för skyddsportarna måste fastställas i utformningskedet. Antalet stängningar bör vara en del av urvalskriterierna för utformningen av skyddsportssystemet.

3. Utformning av skyddsportar i Göteborgsgrenen

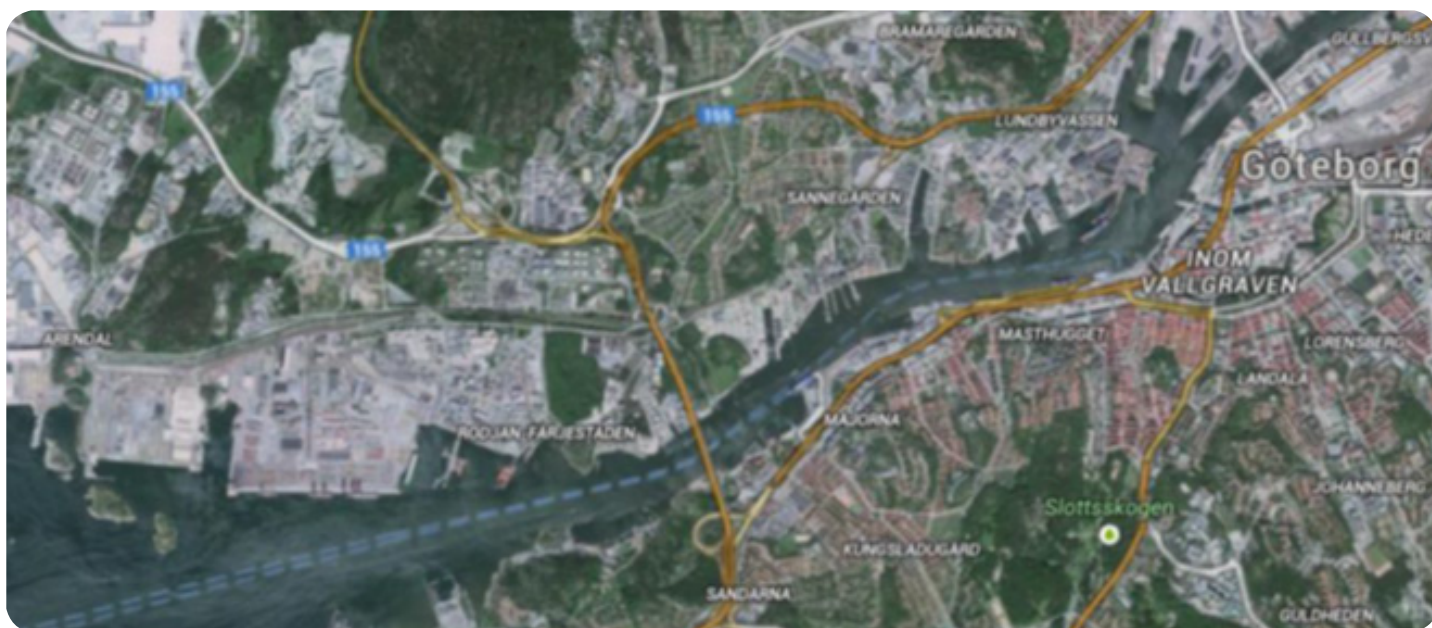
Nuvarande situation

Älvsborgsbron är belägen nedströms Göteborgs stad. I figur 16 ges en överblick av lokaliseringen. Olika typer av båtar och fartyg trafikerar älven. Sjöfarten som berörs kan delas in enligt följande:

- **”Surtemax”-fartyg**, vilka trafikerar älven upp till Surte samhälle; Längd 125 m, bredd 16,5 m, djup 5,4 m.
- **”Vänernmax”-fartyg**, vilka trafikerar älven upp till Vänern; Längd 89 m, bredd 16,5 m, djup 5,4 m.
- **Stenafärjorna**
 - Stena Germanica och Stena Scandinavica; Längd 240 m, bredd 30 m, djup 6 m
 - Stena Danica; Längd 155 m, bredd 28,5 m, djup 6,7 m
 - Stena Jutlandica; Längd 185 m, bredd 28,5 m, djup 6 m
 - Stena Scanrail; Längd 142,5 m, bredd 19 m
- **Kryssningsfartyg**; Längd 193 m, bredd 32 m
- **Ro-Paxfärjor**; Längd 240 m, bredd 30 m, djup 6 m
- **Fritidsbåtar**

Ungefär en tredjedel av vattnet från Göta älvs uppströms liggande del och tillflödet från biflöden så som Kvillebäcken och Säveån, flödar in genom denna del av Göta älv enligt figur 17. Möjligen sker även ett tillflöde från Stora ån/Balltorpsån. Flödet vid skyddsporten utanför Älvsborgsbron regleras av vattennivåerna i Vänern, Säveån och andra biflöden. Utformningen av skyddsporten baseras på följande flödesinformation:

- Flödesnivån under stormen Gudrun; Denna storm används som ett referensvärde för att bedöma erforderlig pumpstationskapacitet. Aktuella flöden framgår i Bilaga 6.
- För höglödessituationer utan storm har värdet 1030 m³/s i Göta älvs uppströms liggande del använts, enligt gällande vattendom.
- För framtida höglödessituationer utan storm, har värdet 1800 m³/s använts för Göta älvs uppströms liggande del, enligt information från projektet Hydromodell Göteborg.



Figur 16. Översiktlig lokalisering vid Älvsborgsbron.

De hydrauliska randvillkor som används vid utformning av skyddsporten är följande:

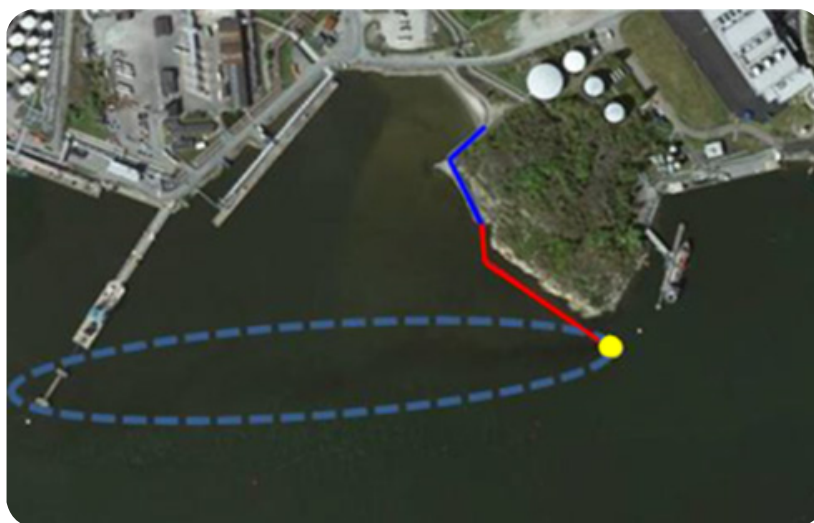
- Vattennivå under stormtillfällen; MW +3 m
- Våghöjd; 1 m (enligt DHI)
- Tidvattenaspekten; Ingen större påverkan från tidvatten
- Stängningsfrekvens; Sker en gång vart tionde år vid år 2050, sker årligen vid år 2114.
- Havsnivåhöjning; MW +1,5 m år 2150



Figur 17. Översikt av de huvudsakliga flödena i området.

Spillvattenavlopp

En viktig aspekt att beakta vid utformningen av skyddsporten i Göteborgsgrenen är förekomsten av ett spillvattenutlopp från GRYAAB, vilket går ut i Göta älv vid Rya nabbe. Nedanstående figur visar utloppets lokalisering samt förekomsten av spillvattenstråk i vattnet (blåstreckad cirkel). Det bör vara fortsatt möjligt att leda ut spillvatten till älven även i framtiden. Ur ett vattenkvalitetsperspektiv är det viktigt att utloppet inte stängs in av en framtida skyddsport. Utloppet utgörs av två ledningar, med 2 m i diameter, vilka sträcker sig ca 200 m ut i älven.



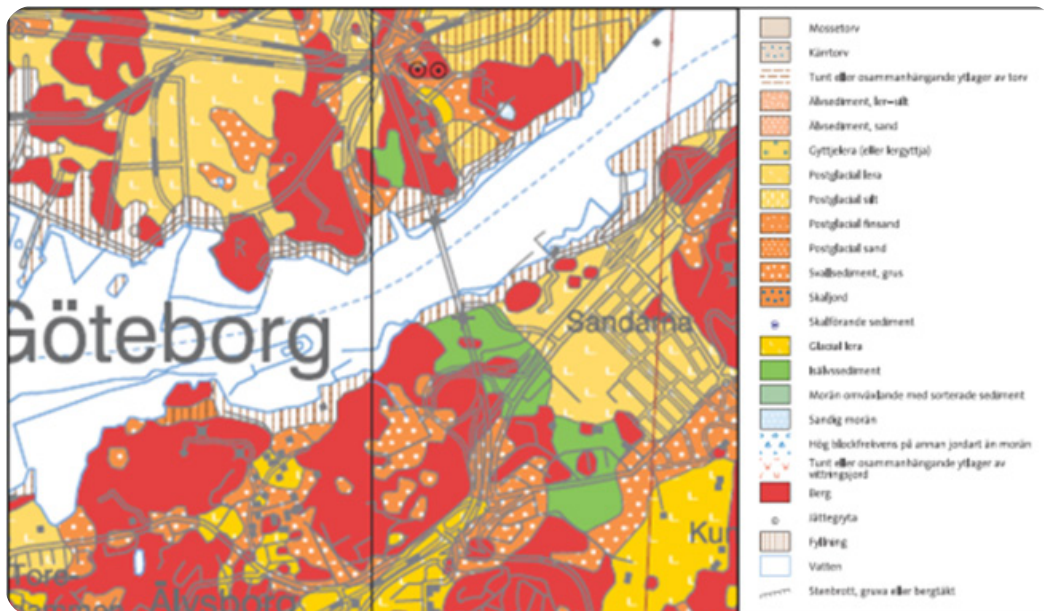
Figur 18. Spillvattenutlopp från GRYAAB.

Geotekniska förhållanden

Förhållandena utmed Göta älv varierar och generellt är området nedströms Lilla Edet relativt låglänt. Norr om Lilla Edet är slänterna mot älven generellt högre. Förutom jordens egenskaper har geometrin i området stor betydelse för stabiliteten i området. Det innebär att variationer i vattennivåer och flödet i älven är faktorer som starkt påverkar stabilitetsförhållandena i området. Det finns idag områden som med hänsyn till stabiliteten är hårt ansträngda både i Göteborgsgrenen och i Nordre älvgrenen. Förändringar av förhållandena innebär därmed ändrade förutsättningar ur ett stabilitetsperspektiv.

I området finns berg i dagen på båda sidor om älven. Jordmäktigheten ökar relativt snabbt mot älven ut från berget och tidigare undersökningar visa på upptill 40 m lera i området. Stabilitetskarteringen visar att säkerheten är tillfredställande för befintliga förhållanden, men inom vissa delar är marginalerna små.

Utförda undersökningar är i huvudsak endast utförda ett tiotal meter ut från strandlinjen, och i den aktuella delen finns inget underlag längre ut i älvfåran. Bedömningsvis är lerdjupen minst 40 m, men stora variationer kan förekomma. Öster om, vid läget för Älvsborgsbron, visar äldre undersökningar att lermäktigheten tvärs älven varierar mellan ca 15 och 42 meter. Ett friktionsjordlager under leran visar även det på stora variationer, 2-45 m. Det totala djupet uppgår i några punkter därmed till 60 m, och det är då osäkert om undersökningarna har avbrutits eller drivits till stopp mot förmodat berg. Hållfasthetsmätningar i leran på den norra sidan av älven visar på en relativt konstant hållfasthet av 18-20 kPa ner till 8-10 m djup under markytan och därunder ökande med ca 1,2 kPa per meter. Detta kan översiktligt antas gälla även i älvområdet, men i ytlagren ner till 4-5 m djup kan hållfastheten vara betydligt lägre.



Figur 19. Jordartskarta för området utanför Älvsborgsbron (SGU, Jordartskartan)

Förorenad mark

I Göta älvs dalgång finns ett stort antal industriområden, varav flera är anlagda i områden med utfyllnad av landmassor. I större delen av dessa områden förekommer förorenad mark av något slag. I dagsläget utgör dessa områden en risk för Göta älvs vattenkvalitet och de ekologiska system som hör till älven. Föroreningarna utgör även en risk för råvattenintaget och därmed också dricksvattenförsörjningen för hela Göteborgs stad. I älvens dalgång finns även stora erosions- och markstabiliseringsproblem. Snabba förändringar i älvens flödesförhållanden och ett ökat vattenflöde i områden med förorenad mark, kan medföra betydligt ökade risker för Göta älv. Vid framtida studier av skyddsportssystemen bör dessa risker tas i beaktande.

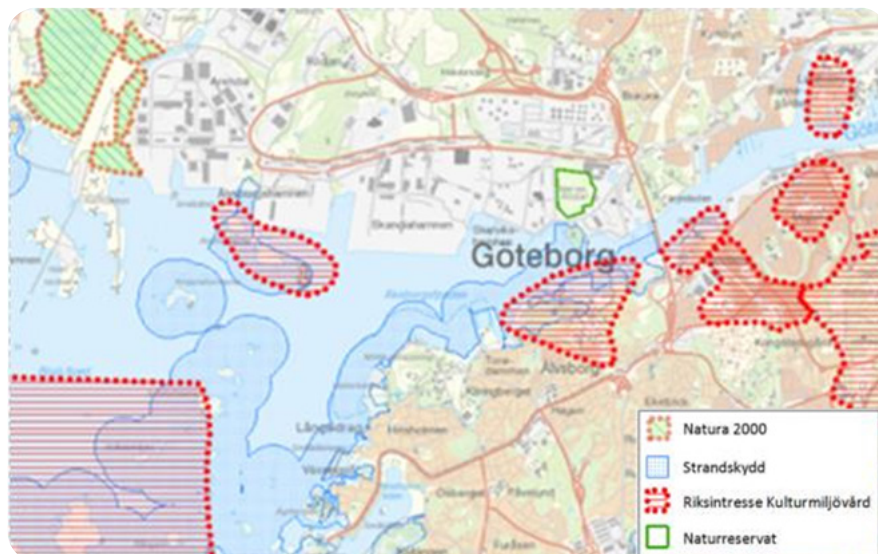
Tillståndsprövning - miljöförutsättningar i Göteborgsgrenen

Ett antal naturrestriktioner förekommer i området. Däribland kan nämnas strandskyddsområden, Rya Skogs naturreservat samt ett Natura 2000-område (Fågeldirektivet) i Torsviken, se nedanstående figur. Uppströms i älvsystemet finns Säveån, vilken är klassad som Natura 2000-område med ett särskilt värde kopplat till laxvandring i ån. I området finns även ett riksintresse för kulturmiljövård samt ett flertal fornlämningar.

Skyddsporten bedöms medföra miljöpåverkan under såväl anläggandeskedet som marginellt, under driftskedet (öppna respektive stängda portar). Påverkan på vattenmiljön utreds även i Bilaga 10. Därav kommer anläggande av skyddsporten kräva tillståndsprövning enligt Miljöbalken. Det bör även beaktas att ett förslag till nya vattenrättsliga bestämmelser nyligen har lyfts fram till Riksdagen, vilket kan medföra nya miljöjuridiska förutsättningar i framtiden.

Med hänvisning till andra infrastrukturprojekt med motsvarande omfattning och kontext, dvs. anläggande av större strukturer i vattenmiljö, är följande aspekter viktiga att beakta i ett tidigt skede;

- Risk för spridning av (potentiellt förorenade) muddermassor under anläggningskedet.
- Sjöfarten och hamnens framtida exploateringsplaner
- Sociala aspekter ex. strandskyddsområden



Figur 20. Översikt av de naturrestriktioner som gäller i området (Länsstyrelsens WebbGIS, 2015).

Lokalisering av skyddsport i Nordre älvgrenen

Inledningsvis har tre lokaliseringar föreslagits för en skyddsport i Göteborgsgrenens utlopp. Platsernas ungefärliga lokaliseringar visas i nedanstående figur. Lokalisering 1 är belägen längre ut mot havet, lokalisering 2 är belägen i närheten av Älvsborgsbron och lokalisering 3 är belägen närmare centrala Göteborg. En variant av lokalisering 2, strax utanför Älvsborgsbron, bedömdes i förstudien vara det bäst lämpade alternativet.



Figur 21. Lokaliseringsalternativ för skyddsport i Göteborgsgrenen.

Lokalisering	Fördel	Nackdel
Yttre läge	Skyddar störst yta inkl. Hamnens verksamhet. Tillräcklig yta för pumpstation.	Dyraste skyddsportskonstruktionen. Stor påverkan på sjöfarten.
Mellanläge	Kortare skyddsport. Tillräcklig yta för pumpstation. Goda förutsättningar för kantstöd (berg i älvkanten).	Mindre påverkan för sjöfart.
Inre läge	Kortaste skyddsportslängden.	Minst påverkan för sjöfarten. Minst yta tillgänglig för pumpstation.

Tabell 3. Viktning av lokaliseringsalternativ.

Operationell konceptbeskrivning (OCD)

Under normala förhållande är Göteborgsgrenens utflöde helt öppet mot havet. Sjöfart har full framkomlighet genom den öppna skyddsporten. Övriga båtar har framkomlighet genom fartygsslussar. Älvsvattnet kan flöda igenom skyddsporten genom en fartygssluss samt ett antal mindre öppningar.

Ett antal timmar innan ett stormtillfälle, varnas all berörd sjöfart. Efter att varning utfärdats kommer all sjöfart som trafikerar området vid Älvsborgsbron att stoppas. Skyddsportarna stängs och skyddar mot stormflöden. Överskott av älvvatten pumpas ut vid behov. Skyddsportarna stängs i dagsläget för en vattennivå på +1,4 m, och för en vattennivå på +2,3 m år 2150 med hänsyn till havsnivåhöjningen. Den maximala vattennivån bakom skyddsporten (+2,3 m) regleras med hjälp av pumpstationer. Båda skyddsportarna, i Göteborgsgrenen samt Nordre älvgrenen, bör stängas vid samma tillfälle för att undvika att vatten tar sig in bakvägen och fyller upp vattennivån bakom en av skyddsportarna.

Inventering av funktioner och aspekter

De funktioner som skyddsporten i Göteborgsgrenen måste kunna uppfylla, redovisas i figur 21.



Figur 22. Funktionerna som skyddsporten utanför Älvsborgsbron måste kunna uppfylla.

I det fall en skyddsport anläggs på platsen, kommer följande funktioner att vara möjliga:

- Översvämningsskydd
- Hantering av Göta älvs flöde
- Framkomlighet för sjöfart
 - "Surtemax"
 - "Vänernmax"
 - Stenafärjor
 - Kryssningsfartyg
 - Fritidsbåtar

Störning av sjöfarten bedöms vara acceptabelt under stormtillfällen, men bedöms inte vara acceptabelt under icke-stormperiod. Störning av älvflödet bedöms inte vara acceptabelt när den kritiska vattennivån för Göteborgs stad (MW +2,3 m) överskrids. I detta fall måste vattennivåerna regleras genom pumpstationer vid skyddsporten.

Krav och kriterier

De krav som identifierats finns redovisade i *Bilaga 1*.

Identifiering och verifiering av utformningsalternativ

Ett flertal "byggblock" har definierats för utformningen av skyddsportsalternativ, dessa avser:

- Dimensionerna för sjöfartspassage, där fyra alternativ finns tillgängliga;
 - Full fartygshastighet; 2-vägsgenomfart samt 1-vägsgenomfart
 - Begränsad fartygshastighet; 2-vägsgenomfart samt 1-vägsgenomfart med begränsad hastighet för större kryssningsfartyg och Stenafärjor, men full fartygshastighet för fartyg som trafikerar uppströms i Göta älv.
- Den maximala flödes hastigheten genom den öppna skyddsporten
 - Flödes hastigheten bör begränsas till mellan 1 m/s och upp till 1,3 m/s. Högre flödes hastigheter är inte tillämpliga då detta, under normala omständigheter kan påverka sjöfarten negativt. Då skyddsportarna är i drift kan flödes hastigheten tillåtas vara högre, då inga fartyg är närvarande vid skyddsporten.
- Pumpstationens kapacitet
- Typ av skyddsport

Slussport

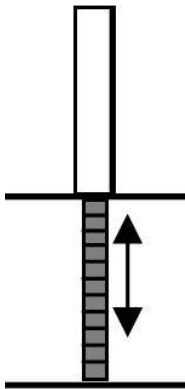
Slusspann på upp till 50 m, ej begränsande i höjded.



Figur 23. Exempel på slussport.

Horizontal rullport

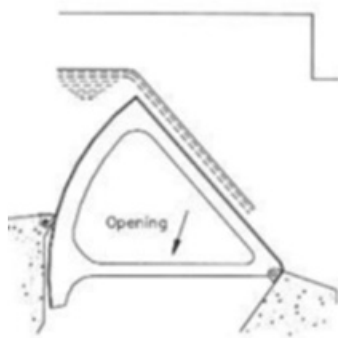
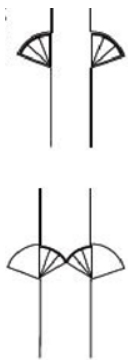
Möjliggör passagebredd på nästan 40 m, och begränsar ej i höjded.



Figur 25. Exempel på horizontal rullport.

Sektorport

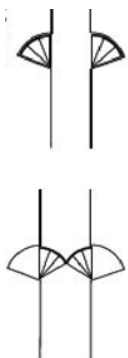
Används för dammar (ej för stormflöden). Portar förvaras i en fördjupning på botten.



Figur 26. Exempel på sektorport med horisontal axel.

Horisontal sektorport

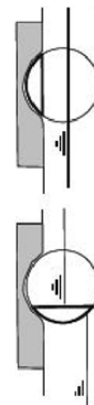
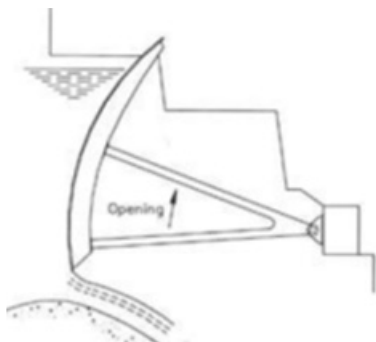
Spännvid på nästan 400 m (Rotterdam) och begränsar ej i höjded. Har flytfunktion samt har antingen "bollgångjärn" eller ordinära gångjärn.



Figur 27. Exempel på horisontal sektorport.

Segmentport/radiellport

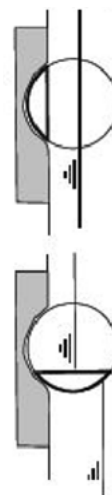
Spännvidd på upp till 60 m, men medför begränsning i höjddled.



Figur 28. Exempel på segmentport/radiellport.

Nedsänkt segmentport

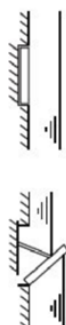
Spännvidd på upp till 60 m, är ej begränsad i höjddled.



Figur 29. Exempel på nedsänkt segmentport.

Fällbar port

Obegränsad spännvidd (ett ballastsystem som utgörs av vatten och luft används för att lyfta porten från botten), samt är ej begränsad i höjddled.



Figur 30. Exempel på fällbar port.

Vertikal lyftport

Spännvidd på upp till 60 m, men medför begränsning i höjled.



Figur 31. Exempel på vertikal lyftport.

Uppblåsbar port

Obegränsad spännvidd, är ej begränsad i höjled.



Figur 32. Exempel på uppblåsbar skyddsport.

Analys av varianter

Genom att använda de "byggblock" som beskrivits i tidigare kapitel, framgår ett flertal olika varianter. Dessa presenteras i tabell 4. Föreslagna dimensioner för exempelvis sjöfartspassager framgår i Bilaga 4.

"Byggblock" för sjöfartspassager

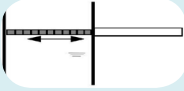

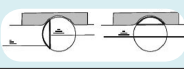

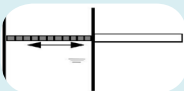
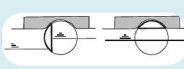



"Byggblocken" för sjöfartspassager består huvudsakligen av bredden för respektive passage. Inom ramen för detta projekt ansätts skyddsportarnas tröskelnivå till att vara aningen högre i jämförelse med älvens botten. När tröskelnivån är samma som, eller lägre än älvens bottenivå, finns risk för sedimentering av konstruktionen. Av denna anledning är toppen av skyddsportens tröskel, för respektive sjöfartspassage, lokaliserad vid MW -11 m. Det djup som erfordras för att fartyg från ex. varvet ska kunna passera är 9 m. Köldjupsnivån för sjöfartsslussar är 0,7 m för fartyg som trafikerar inlandet, och 10 % av djupet för större fartyg. Värden och grafer presenteras i sin helhet i Bilaga 3.

Kod ("block")	Beskrivning	Resultat av utvärdering	Första bedömning
0	En större öppning med bredd 211 meter (hastighet är 8 knop för varje fartyg; 2-vägspassage för varje fartyg). Rörlig skyddsport som ej begränsas i höjddled.	Ej ett alternativ. Fartygskanalernas bredd motsvarar inte nuvarande bredd och tillgänglig bredd.	Ej tillämplig
1	En större öppning med bredd 140 meter (hastighet är 8 knop för respektive fartyg; 1-vägspassage för varje fartyg). Rörlig skyddsport som ej begränsas i höjddled för kryssningsfartyg och Stenafärjor.	Enkelriktad passage finns redan tillgänglig för Stenafärjor och kryssningsfartyg, vilka motsvara beräknad bredd, varför detta är ett möjligt alternativ.	Bör bedömas med avseende på hydrauliska portar som ej begränsas i höjddled, vilket framgår senare i detta kapitel.
2	Begränsad hastighet för Stenafärjor och kryssningsfartyg. (hastighet är 8 knop för övriga fartyg; 2-vägs passage för varje fartyg.)	Ej ett alternativ. Det bedöms vara riskabelt att låta två Stenafärjor samt kryssningsfartyg trafikera passagen så nära varandra, även med begränsad hastighet.	Ej tillämplig
3	Tre större öppningar med 50 meters bredd. En öppning för Stenafärjor och kryssningsfartyg, vilka färdas med begränsad hastighet samt endast trafikerar under goda väderförhållanden. Öppningar är ej begränsade i höjddled. Två öppningar är 1-vägspassager för "Surtemax" och mindre fartyg/båtar, vilka tillåts segla med 8 knops hastighet.	Bedöms som lämpligt för Stenafärjor, kryssningsfartyg samt sjöfart för inlandstrafik.	Bör bedömas med avseende på hydrauliska portar som ej begränsas i höjddled, vilket framgår senare i detta kapitel.

Tabell 4. Möjliga varianter för skyddsportens passagebredder

”Byggnadsblock” för typ av skyddsport

I nedanstående tabell kombineras byggnadsblock 1 och 2 från tabell 4 med ”skyddsportstyp”. Lämpliga varianter att använda för multikriterieanalys bedöms vara 1a, 1b, 3a, 3c, 3g samt 3h.

Kod (”block”)	Beskrivning	Resultat av utvärdering	Första bedömning
1a 	Horisontal rullsport, en stor öppning med 140 m bredd. 1-vägs fartygspassage med maxhastighet 8 knop.	Uppfyller kraven.	Bedöms som lämplig. Medför viss risk avseende underhållsarbete. För erforderliga dimensioner krävs ”bollgångjärn”, vilka snabbare slits ut.
1b 	Fällbar port med horisontalaxel; en stor öppning med 140 m bredd. 1-vägs sjöfartspassage med maxhastighet 8 knop.	Uppfyller kraven. Pålitlighet och underhåll är en utmaning avseende gångjärn under vatten.	Bedöms som lämplig. Medför viss risk för pålitlighet/underhåll.
3a 	Nedsänkt segmentport med tre öppningar.	Uppfyller kraven.	Bedöms som lämplig.
3b 	Slussport (mitre gate) med tre öppningar.	Uppfyller ej kraven. Med slussspann på endast 50 meter samt med gällande flödesvolym, kommer portarna ej att kunna stängas/öppnas.	Bedöms ej som lämplig.
3c 	Horisontal rullport med tre öppningar.	Uppfyller kraven.	Bedöms som lämplig. Underhållsbehovet för konstruktioner (spår) under vatten kan vara en risk. Stor flödesvolym under stängningsfasen kan utgöra en risk.
3e 	Segmentport med tre öppningar.	Uppfyller ej kraven. Medför begränsning i höjdlid, vilket påverkar kryssningsfartyg.	Bedöms ej som lämplig.
3f 	Vertikal lyftport med tre öppningar.	Uppfyller ej kraven. Medför begränsning i höjdlid, vilket påverkar kryssningsfartyg.	Bedöms ej som lämplig.
3g 	Fällbar port med tre öppningar.	Uppfyller kraven.	Bedöms som lämplig. Pålitlighet/underhåll kan vara en utmaning avseende gångjärn under vatten. Medför viss risk gällande pålitlighet.
3h 	Uppblåsbar port med tre öppningar.	Uppfyller kraven.	Bedöms som lämplig. Uppblåsbara portar medför en viss risk avseende underhåll och ersättning av komponenter.

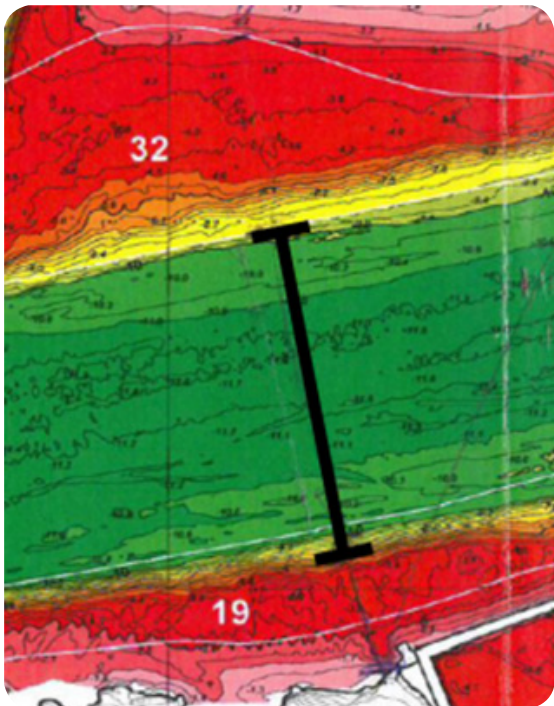
Tabell 5. Skyddsportsvarianter bedöms i kombination med alternativ för bredd av sjöfartspassage.

”Byggnadsblock” för flödes hastighet

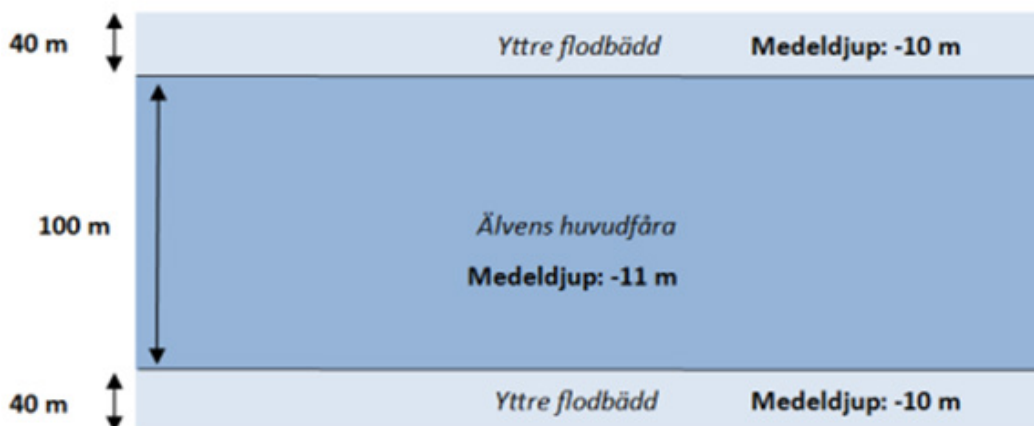
Älvvattnets flöde genom skyddsporten i öppet läge beräknas för ett antal olika flödesförhållanden som kan råda uppströms i Göta älv. Dessa beräkningar redovisas nedan. I nedanstående tabell visas att flödes hastigheten för nuvarande förhållanden i området är lägre än den tillåtna flödes hastigheten på 1 m/s.

Flödes hastigheten under skyddsportarnas stängning bedöms inte inom ramen för denna förstudie. Denna fråga bör utredas mer i detalj i fortsatta studier.

Huvuddelen av älvflödet kommer att ske genom skyddsportens sjöfartspassage. Av denna anledning beräknas endast tvärsektionerna vid tilltänkt sjöfartspassage, enligt figur 33 - 34.



Figur 33. Utdrag ur sjökort, vilket visar djupet i älven.



Figur 34. Schematisering av sjöfartskanaler i älvmrådet utanför Älvsborgsbron.

I samband med att skyddsportarna i Göteborgsgrenen konstrueras, kommer tvärsektionerna att vara lägre med anledning av att pyloner förekommer i älven. Detta medför en högre flödes hastighet. Efter det att skyddsporten har implementerats kommer den återstående tvärsektion, som kan tillåtas, att vara enligt följande;

$$A_{\text{minimum cross sektion}} = \frac{600 \frac{m^3}{s}}{1 \frac{m}{s}} = 600 m^3$$

Den totala tillgängliga tvärsektionen i sjöfartspassagen är; $A_{\text{available}} 100m \times 11m + 40m \times 10m + 40m \times 10m = 1900m^2$. I samband med att pylonerna i sjöfartspassagen konstrueras, kommer flödes hastigheten att öka. Areal som används för att konstruera pylonerna motsvarar den tillgängliga tvärsektionsytan minus den minsta möjliga tvärsektionen. Därmed bör arean i älven, inom vilken pylonerna anläggs, inte vara större än $A_{\text{minimum cross sektion}} = 1900m^2 - 600m^2 = 1300m^2$. Tröskeln bör lokaliseras vid MW -11m. Pylonernas totala bredd i passagen, vid ett djup av 11 m mätt från MW, motsvarar $1300 m^2 / 11 m = 118m$. Den totala bredden av pylonerna, i rätvinkel på sjöfartspassagens axel, får därför inte vara större än 118 meter.

Vänerns flöde	Göta älvs flöde (vid Göteborg)	Tvärsektioner för lägre vattennivå	Flödes hastighet	Tillåten
1030 m ³ /s (Vattendom)	340 m ³ /s	1900 m ²	0,2 m/s	1 m/s
1800 m ³ /s (beräknat framtida flöde enl. Hydromodell Göteborg)	600 m ³ /s	1900 m ²	0,3 m/s	1 m/s

Multikriterieanalys av återstående alternativ

Ur ett funktionsperspektiv, uppvisar lösningarna 1a-1b (horisontal skyddsport respektive fällbar port) goda resultat. Samtidigt medför dessa alternativ höga kostnader samt påverkan landskapsbilden, då större konstruktioner måste placeras i älven. Nackdelar med dessa alternativ är:


- Svårighet i samband med fenomenet "stående våg", vilket kan uppstå i havsområdet mellan Danmark och Sverige och orsaka speciella vågförhållanden i älvmyningen, se vidare i efterföljande kapitel.
- Problem med isbildning och drivande isblock i konstruktioner, ex. med isflak som fastnar "bakom" skyddsporten.

Alternativ 2b och 3g (fällport) medför en viss negativ aspekt i samband med komplext underhållsbehov samt pålitlighet som översvämningsskydd (problemet med "stående våg" mm). Av denna anledning får dessa alternativ ett lägre poäng jämfört med alternativen sektorport och segmentport.

Alternativ 3h (uppblåsbar port) får lägre poäng än alternativet fällbar port, och väljs därför bort.

Alternativ 3a (nedsänkt segmentport) får högre poäng jämfört med fällbar port, och medför en lägre kostnad jämfört med alternativet horisontal sektorport, varför detta alternativ är fortsatt aktuellt.

Alternativ 3c (horisontal rullport) medför en viss känslighet för strömmar under stängningsprocessen. Alltför starka strömmar riskerar att lyfta porten ur sina spår vilket omöjliggör stängning och även kan leda till att porten förstörs. Ett alternativ kan vara att bygga in mindre öppningar med lyftportar i den större rullporten, men detta bedöms vara en komplicerad lösning. Vidare så behöver en horisontal rullport stora stödkonstruktioner belägna i sjöfartspassagen, i vilka själva portarna förvaras. För en skyddsport med 50 m längd krävs en motsvarande stödkonstruktion på minst 50 m. Anläggande av en stödkonstruktion av denna storlek, mitt i älven, bedöms vara problematiskt. Av denna anledning bedöms övriga skyddsportsalternativ vara med fördelaktiga.

						
Kriterium	1a; Horisontal sektorport med en stor öppning (140m) och 1vägs sjöfartspassage med 8 knop maxhastighet	1b; Fällbar port med en stor öppning (140m) som styrs av ballastsystem, 1-vägs sjöfartspassage med 8 knop maxhastighet	3a; Nedsänkt segmentport med tre öppningar	3c; Horisontal rullport med tre öppningar	3g; Fällbar port med tre öppningar	3h; Uppblåsbar port med tre öppningar
Sjöfart	++ En stor öppning	++ En stor öppning	-- Mindre öppningar	-- Mindre öppningar	-- Mindre öppningar	-- Mindre öppningar
Pålitlighet som översvämnings-skydd	-- Benägenhet att slitas ut m.a.p. "bollgångjärn" känslighet vid isbildning.	-- Sedimenteringsproblem vid gångjärn, känslighet vid isbildning.	+ Inga rörliga delar på botten, risk för problem med sedimentation	-- Ej möjlig att stänga under stora flöden.	- Sedimenteringsproblem vid gångjärn. känslighet vid isbildning	- Inga delar på botten, enkel att blåsa upp, men bef. vattendjup är ej tillräckligt gynnsamt.
Komplexitet i underhåll	- "Bollgångjärn" tenderar slitas ut, men kan underhållas i torr miljö.	-- Gångjärn under vattenytan	- Sedimentation	+ Torrbygga	-- Gångjärn under vatten	-- Uppblåsbar under vatten
Risk vid anläggande	+ Konstrueras på torrbygga	0	0	0	0	0
Miljöpåverkan	0	0	0	0	0	0
Energi-konsumtion	0	0	0	0	0	0
Påverkan på landskapsbild	- Två stora stöd-konstruktioner på var sida älven	0 Lokaliserad ovan vattenytan	- Fyra piler/ pelare i älven	-- Stor, artificiell ö i älven	-- Fyra piler/ pelare i älven	-- Fyra piler/ pelare i älven
Total poäng (neutral viktning)	0	-2	-3	-5	-5	-6
Bedömd kostnads-rankning	4	2	1	2	2	3
Slutlig bedömning	Möjlig lösning. Risk med pålitlighet samt isbildning, möjligen också risk med "stående våg" mellan Danmark-Sverige.	Möjlig lösning. Möjlig komplexitet vid underhåll bör beaktas.	Möjlig lösning.	Möjlig lösning. Möjlig komplexitet vid underhåll samt stängning under högflöden bör beaktas.	Möjlig lösning. Möjlig komplexitet vid underhåll bör beaktas.	Bortvald. Har lägst poäng och medför stora kostnader. Älven bedöms vara för djup för att alternativet ska vara genomförbart.

Tabell 6. Multikriterieanalys av skyddsport i Göteborgsgrenen.

Fördjupad studie av förslaget skyddsportsalternativ

De två alternativ som återstår i urvalsprocessen är:

Horisontal sektorport

- Två sektorportar, vardera med 75 m bredd
- Total bredd på 150 m
- Pumpstation integreras i stödkonstruktionerna
- GRYAABs spillvattenutlopp integreras i samband med pumpstationen

Nedsänkt segmentport

- Tre nedsänkta segmentportar, vardera med 50 m bredd
- En större öppning för Stenafärjor och kryssningsfartyg (begränsad hastighet, möjligt bogseringsbehov).
- Två öppningar (in- och utfart) för fartyg av typen "Surtemax" (eller mindre fartyg) med maximal hastighet på 8 knop.
- Pumpstation lokaliserar till norr om älven
- GRYAABs spillvattenutlopp integreras med pumpstationen
- En fördämning anläggs mellan den nedsänkta segmentporten och pumpstationen



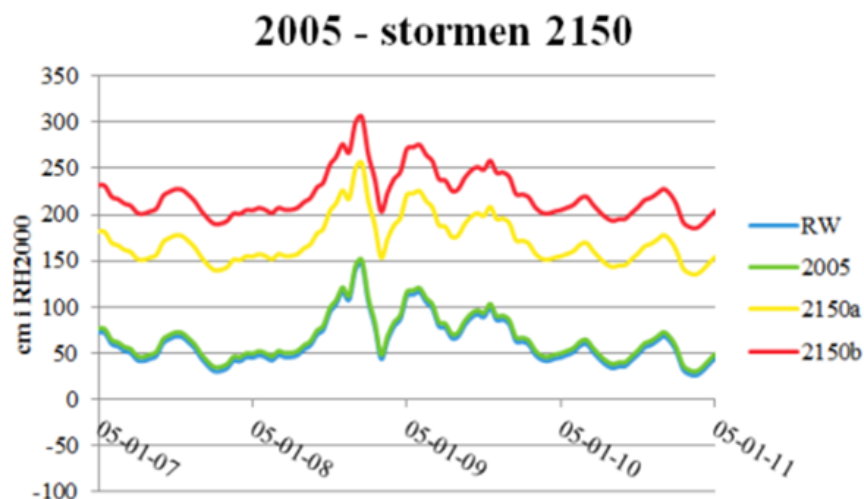
Figur 35. Förslag på horisontal sektorport utanför Älvsborgsbron.



Figur 36. Förslag på nedsänkt segmentport i kombination med mindre lyftportar samt pumpstation. Streckad linje motsvarar en permanent fördämning.

Vilket alternativ som bedöms som bäst lämpat är beroende av vilka intressen som anses mest prioriterade av Göteborgs Stad. Ur ett tekniskt, underhållsmässigt och säkerhetsmässigt perspektiv **bedöms det lämpligaste alternativet vara nedsänkt segmentport (3a)**. Motiven till detta val är följande:

1. Pålitlighetsaspekten är bättre för en nedsänkt segmentport jämfört med en horisontal sektorport.
2. En nedsänkt segmentport är bättre lämpad att stå emot "negativt vattennivå" dvs. när vattennivån i området bakom skyddsporten är högre än havsvattennivån utanför porten. Ett sådant scenario kan möjligen uppstå i samband med ett stormtillfälle. En s.k. "stående våg" kan uppstå i havsområdet mellan Danmark och Sverige, orsakat av variationer i vindförhållanden. Vattennivån kan falla med upp till 1-2 meter under några timmar. Om detta inträffar under ett stormtillfälle, och en horisontal sektorport finns på plats, riskerar porten att tryckas ut mot havet av vattentrycket som byggts upp bakom skyddsporten (om "stående våg"-aspekten tas med i dimensioneringen). En nedsänkt segmentport kan motstå en sådan "negativ vattennivå" och kan enkelt öppnas för att slussa ut överskottsvatten under lågvattentillfällen. På detta sätt kan den erforderliga pumpkapaciteten under en storm vara lägre och en "negativ vattennivå" kan reduceras.
3. Under vinter- och vårperioden kan is förekomma i älvsområdet. Flytande isblock/flak riskerar att fastna bakom skyddsporten då den är stängd, vilket kraftigt ökar belastningen på konstruktionen. Belastningen på en nedsänkt segmentport bedöms bli lägre jämfört med en horisontal sektorport. Vidare så bedöms en nedsänkt segmentport vara bättre lämpad för isförhållanden.
4. Ur ett sjöfartsperspektiv är det bäst lämpade alternativet att använda en horisontal sektorport. Ett bredare avstånd mellan stödkonstruktionerna, främjar trafikering av större kryssningsfartyg, Stenafärjor och övriga båtar. Två aspekter bör beaktas.
 - Det finns en risk att stödkonstruktioner kan skadas av påkörande fartyg, men konsekvenserna av en sådan kollision bedöms vara små.
 - Passagen för Stenafärjor är relativt liten, varför större fartyg endast kan använda denna passage under goda väderförhållanden. Vid sämre väder krävs assistans av bogserbåtar.



Figur 37. Presentation av en s.k. "stående våg" mellan Sverige och Danmark under stormen Gudrun (2005).

Val av skyddsport för Göteborgsgrenen

Den avgörande skillnaden mellan en nedsänkt segmentport (med maximal öppningsbredd på 50-60 m) och en horisontal sektorport, är att den senare är bättre lämpad för passage av större fartyg. För närvarande är Stenafärjorna de största fartyg som frekvent trafikerar området. Det är i dagsläget oklart huruvida detta kommer att vara fallet om 50-100 år. Möjligen kan en ny Stenaterminal komma att anläggas, väster om den tilltänkta lokaliseringen av skyddsporten, varvid fler och större fartyg kan komma att trafikera sträckan. Göteborgs hamn har som önskemål att bibehålla den nuvarande farledsbredden för större fartygstrafik även i framtiden, men det är fortfarande oklart om denna bredd verkligen kommer att krävas i praktiken.

En skyddsport av typen "Maeslant barrier" (horisontal sektorport) är ungefär dubbelt så kostsam som en port liknande den som finns i Thames (nedsänkt segmentport); skälet är att den förra är mer tekniskt komplex samt att den är sårbar för isbildning (på portens baksida) och påverkan från en "stående våg" (på portens framsida). Av dessa anledningar väljs alternativ 3a (nedsänkt segmentport) ut som den lämpligaste lösningen. En uppskattning av skyddsportens dimensioner framgår i nedanstående tabell.

Parameter	Värde	Kommentarer
Antal öppningar för sjöfartspassage	3	En öppning är nödvändig för passage av Stenafärjor och kryssningsfartyg. Dessa fartyg bör färdas med lägre hastighet genom skyddsporten (alt. genom bogsering).
Öppningens bredd för passage av Stenafärjor och kryssningsfartyg	50 m eller större	Flödehastigheter är begränsade, så det finns inget behov av en större öppning, ur ett flödesperspektiv.
Öppningens bredd för inlandsjöfart (uppströms i Göta älv) ex. "Surtemax"	50 m per öppning	Avgörande är den nödvändiga bredden för envägstrafik i respektive öppning. Flödehastigheter är begränsade. Det finns inget behov av en större öppning, ur ett flödesperspektiv.
Tröskelnivå	11 m under normal vattennivå i älven	Baseras på kraven för sjöfart; 9 m djup är ett krav kopplat till verksamhet vid varvet, i centrala Göteborg.
Övre nivå på stängd skyddsport	5 m ovan normal vattennivå	Typvattennivån antas vara 3 m ovan den normala vattennivån. Beroende på hur hög tolerans som finns för ett överskridande flöde, kommer det s.k. "fribordet" att vara i storleksordningen 0,5 – 2x vindvåghöjden. Våghöjden antas vara ca 1 m (DHI).
Skyddsportens totala höjd	16 m	-
Begränsning i höjddled	Nej	-
Dämpare	Återstår att välja	Olika varianter av marknadsmässiga hydrauliska cylindrar finns att tillgå
Pumpkapacitet	Bedöms i nästkommande underkapitel	-

Tabell 7. Uppskattning av erforderliga dimensioner för en skyddsport i Göteborgsgrenen.

Kapacitet för pumpstation

Vid en första bedömning av hur stor yta som krävs för en pumpstation, görs en jämförelse med den befintligt anlagda pumpstationen "Hooglandemaal" i Stavoren, Nederländerna.

Nämnda pumpstation har en kapacitet på $100 \text{ m}^3/\text{s}$ och består av fyra pumpar, vardera med en diameter på ca 3,5 m. Varje pump har en flödeskanal med en bredd på 6 m, och skiljerväggar med 4 m bredd. Den totala erforderliga bredden för en pumpenhet är 10 m. Längdmässigt så behöver pumpbyggnaden vara ca 60 m lång. Pumpstationens dimensioner avgörs av vilken typ av pump som används, och inte av antalet pumpar.

Flödet i pumpstationen är avhängigt vilken magasineringskapacitet som kan uppstå bakom skyddsporten. Tre olika scenarior har tagits fram:

1. Nuvarande förhållande (utan havsnivåhöjning)

- Skyddsportar stängs vid MW +1,4 m
- Maximal vattennivå för lagring av vattenflöde vid MW +2,3 m
- Flöden antas motsvara de under stormen Gudrun, 2005 (se Bilaga 6)

2. Förhållande vid år 2150 (inkl. havsnivåhöjning)

- Skyddsportar stängs vid MW +2,3 m
- Maximal vattennivå för lagring av vattenflöde vid MW +2,3 m
- Flöden antas motsvara de under stormen Gudrun, 2005 (se Bilaga 6)

3. Reducerat flöde från Väner

- Maximalt flöde från Väner som når Göta älv i höjd med Lilla Edet är $175 \text{ m}^3/\text{s}$
- En överenskommelse med Vattenfall upprättas för att kunna bibehålla angivet flöde från Väner under hela stormförloppet.
- Maximal vattennivå för lagring av vattenflöde vid MW +2,3 m



Figur 38. Exempel på en befintlig pumpstation, i Stavoren, Nederländerna. denna pumpstation har en kapacitet på $100 \text{ m}^3/\text{s}$.

Förslag på dimensioner har tagits fram för scenario 1 och 2. En första bedömning av pumpkapacitet för dessa scenarier redovisas i Bilaga 7.

Utifrån denna referens bedöms den erforderliga storleken för en pumpstation i Göteborgsgreinen bli enligt följande;

Parameter	Pumpstationens dimensioner (nuvarande förhållanden, utan havsnivåhöjning)	Pumpstationens dimensioner (2150 års förhållande, inklusive havsnivåhöjning)
Kapacitet	170 m ³ /s	267 m ³ /s
Kapacitet för respektive pump	Ca 25 m ³ /s	Ca 25 m ³ /s
Antal pumpar	7	11
Bedömd bredd på pumpstationen	7x10 m + 5 m för bakomliggande struktur = 75 m	11x10 m + 5 m för bakomliggande struktur = 115 m
Bedömd längd på pumpstationen	40 – 60 m	40 – 60 m
*	Den pumpkapacitet som erfordras för en skyddsporten i Göteborgsgreinen redovisas i Bilaga 7. Kapaciteten 800 m ³ /s avser det teoretiska maxflödet enligt vattendom. Under ett stormtillfälle kommer dock vattentrycket i höjd med Lilla Edet att vara lägre, vilket resulterar i en lägre flödeskapacitet vid Lilla Edet och Vänern. Exempelvis; I det fall flödeskapaciteten vid Lilla Edet och i Vänern är begränsad, skulle en maximal flödeskapacitet på 600 m ³ /s vara alltför konservativt. Det är sannolikt att Vänerns flödeskapacitet kommer att begränsas under ett stormtillfälle.	

Tabell 8. Bedömd storlek för pumpstation vid skyddsport i Göteborgsgreinen, med pumpstationen "Hooglandemaal" i Nederländerna som referensobjekt.

Dimensionerna för pumpstationen och antalet pumpar som är nödvändiga skiljer sig mellan varandra. Därför föreslås implementering av en mer anpassad utformningsstrategi. Detta innebär att en viss yta avsätts för framtida pumpar i pumpstationen, även om samtliga pumpar inte installeras vid anläggningskedet.

En ungefärlig utsträckning av den yta som behöver avsättas för en pumpstation framgår i nedanstående figur (blå polygon). Älvens bottenprofil i denna sektion presenteras också nedan, vilken visar att vattendjupet i aktuellt område är relativt begränsat.



Figur 39. Djupprofil för området där en pumpstation planeras.

Kostnader

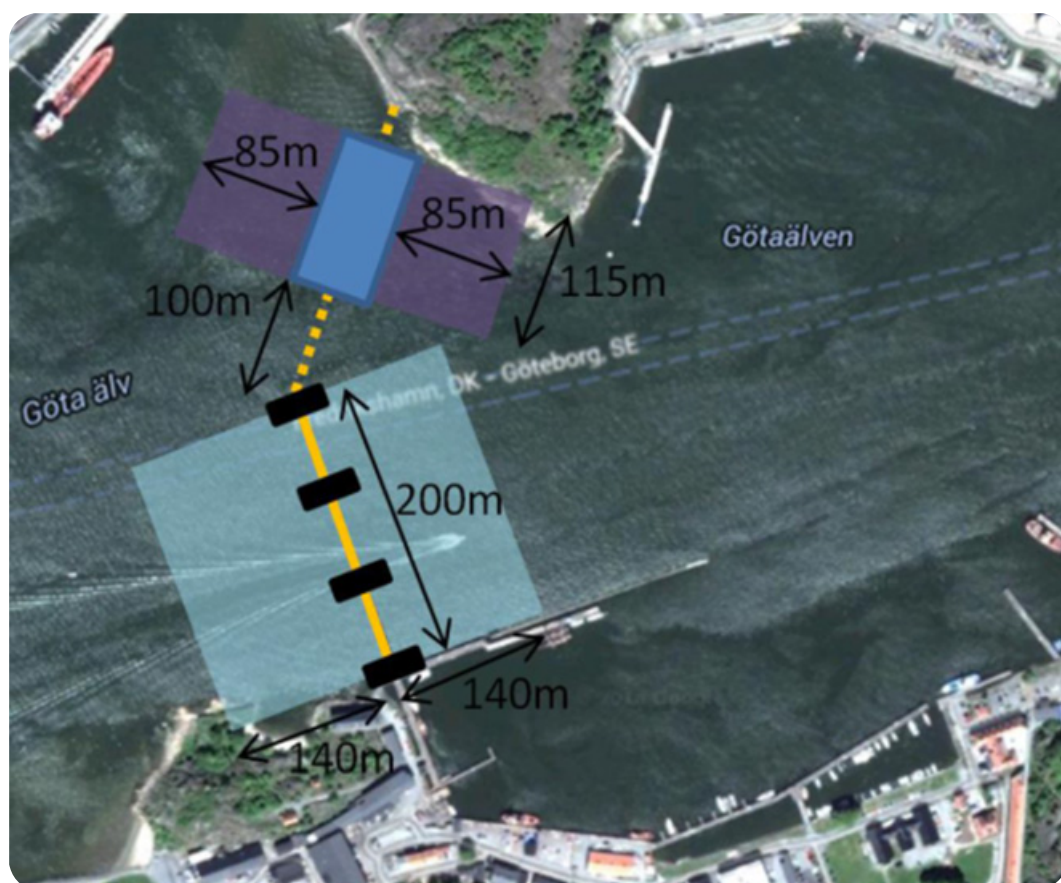
En kostnadsbedömning har genomförts för skyddsportar samt pumpstationer i Göteborgsgrenen respektive Nordre älvgrenen, se Bilaga 9.

Enligt kostnadsbedömningen kommer föreslagen skyddsport i Göteborgsgrenen att kosta mellan **148 - 318 miljoner EUR**. Pumpstationen som föreslås för denna skyddsport bedöms kosta mellan **88 – 188 miljoner EUR**.

Totalt så bedöms skyddsport samt pumpstation kosta mellan 236 – 506 miljoner EUR, det vill säga mellan ca **2,2 – 4,7 miljarder SEK**.

Översikt och arkitektoniskt förslag

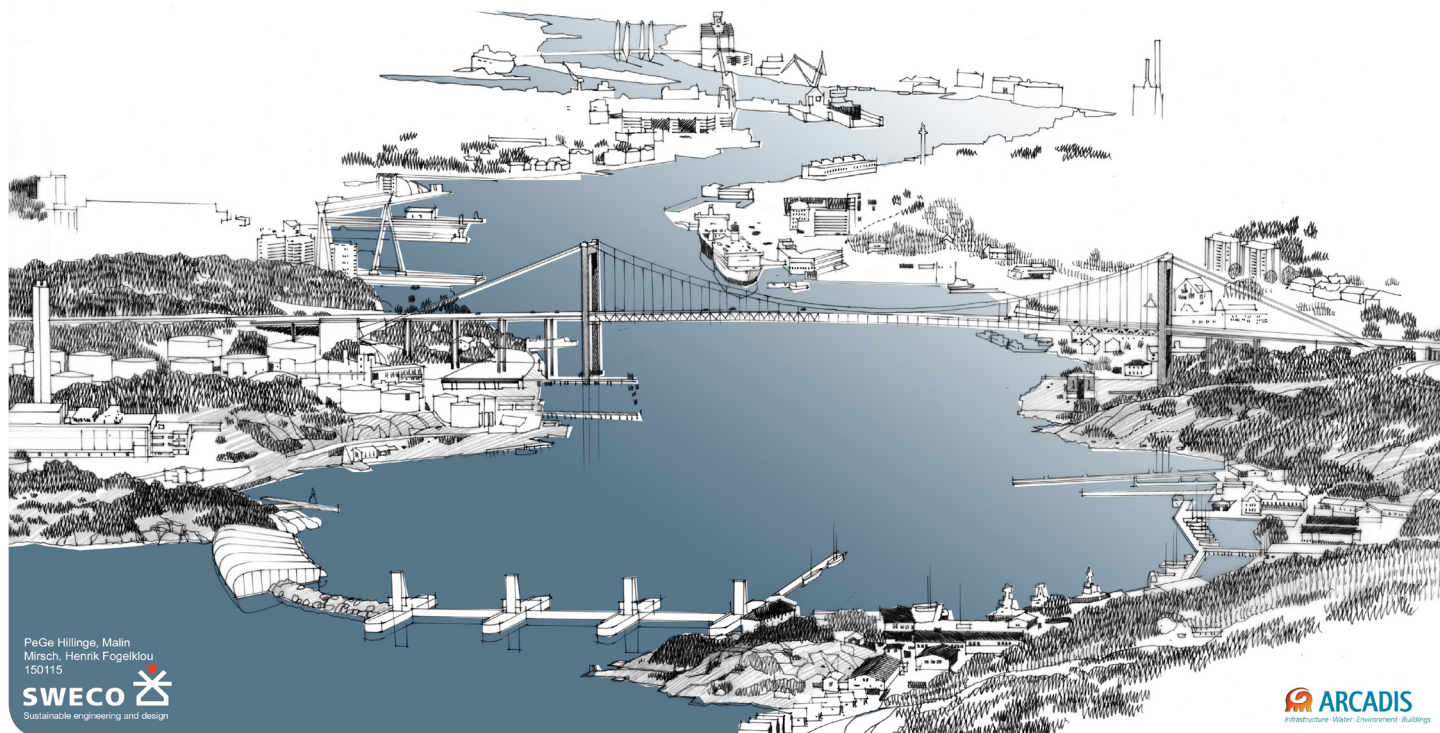
En översikt över skyddsporten och pumpstationens lokalisering framgår i nedanstående figur. Tidiga skissförslag på skyddsportens utformning framgår i efterföljande figurer.



Figur 40. Översikt av skyddsportens läge i Göteborgsgrenen.

STORMBARRIÄR ÄLVSBORGSBRON

ALTERNATIV A, STÄNGD



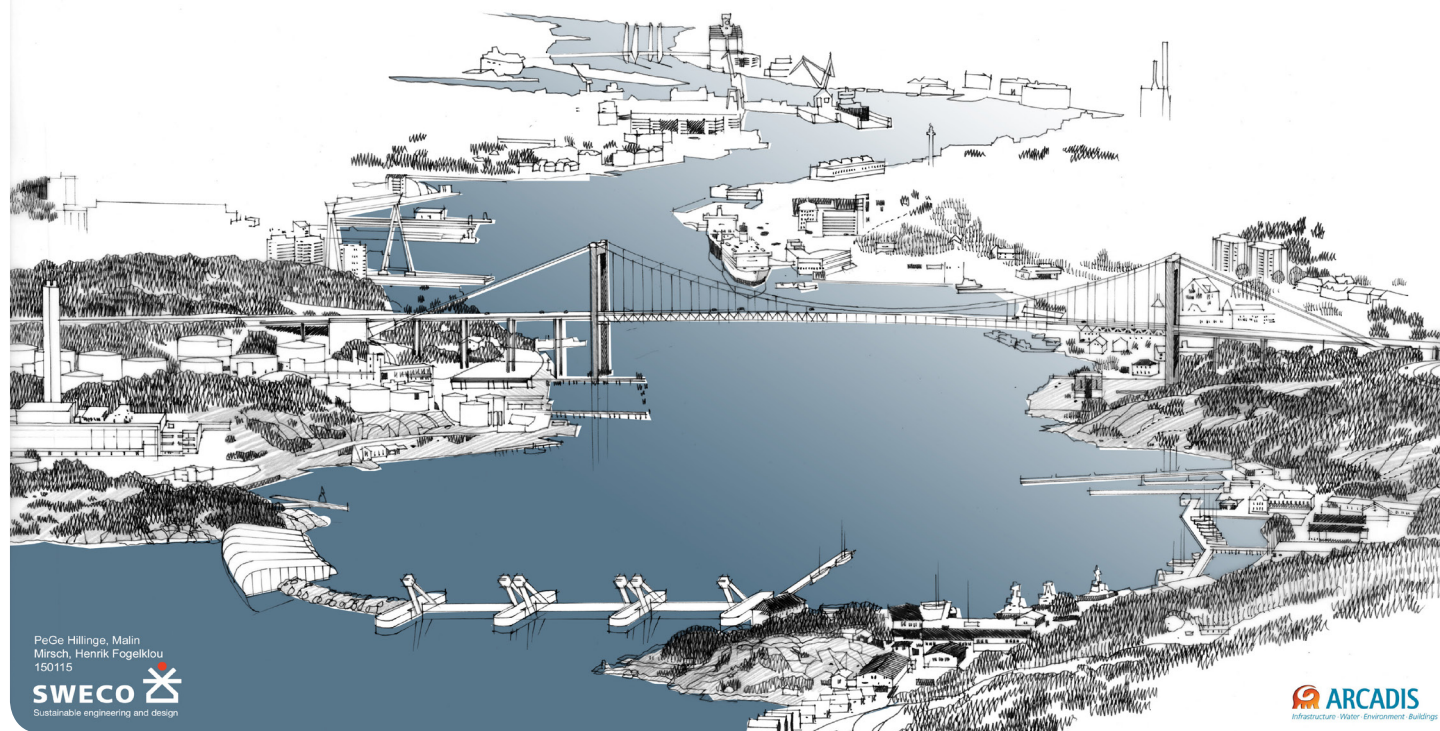
P&G Hillinge, Malin
Mirsch, Henrik Fogelklou
150115
SWECO
Sustainable engineering and design

ARCADIS
Infrastructure Water Environment Buildings

Figur 40. Tidig idéskiss för utformning av skyddsport (stängda portar) i Göteborgsgrenen (Sweco, 2015).

STORMBARRIÄR ÄLVSBORGSBRON

ALTERNATIV B, STÄNGD



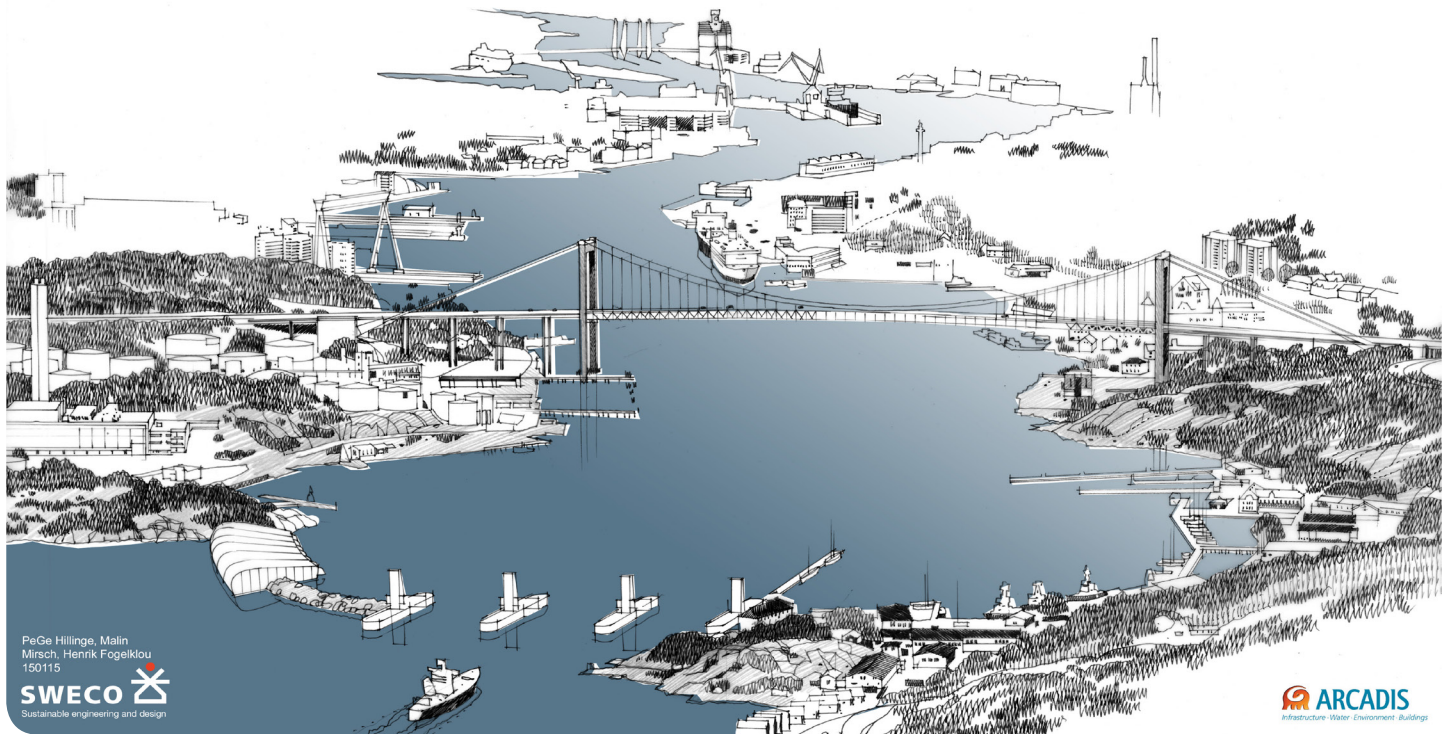
P&G Hillinge, Malin
Mirsch, Henrik Fogelklou
150115
SWECO
Sustainable engineering and design

ARCADIS
Infrastructure Water Environment Buildings

Figur 42. Tidig idéskiss för utformning av skyddsport (stängda portar) i Göteborgsgrenen (Sweco, 2015).

STORMBARRIÄR ÄLVSBORGSBRON

ALTERNATIV A, ÖPPEN



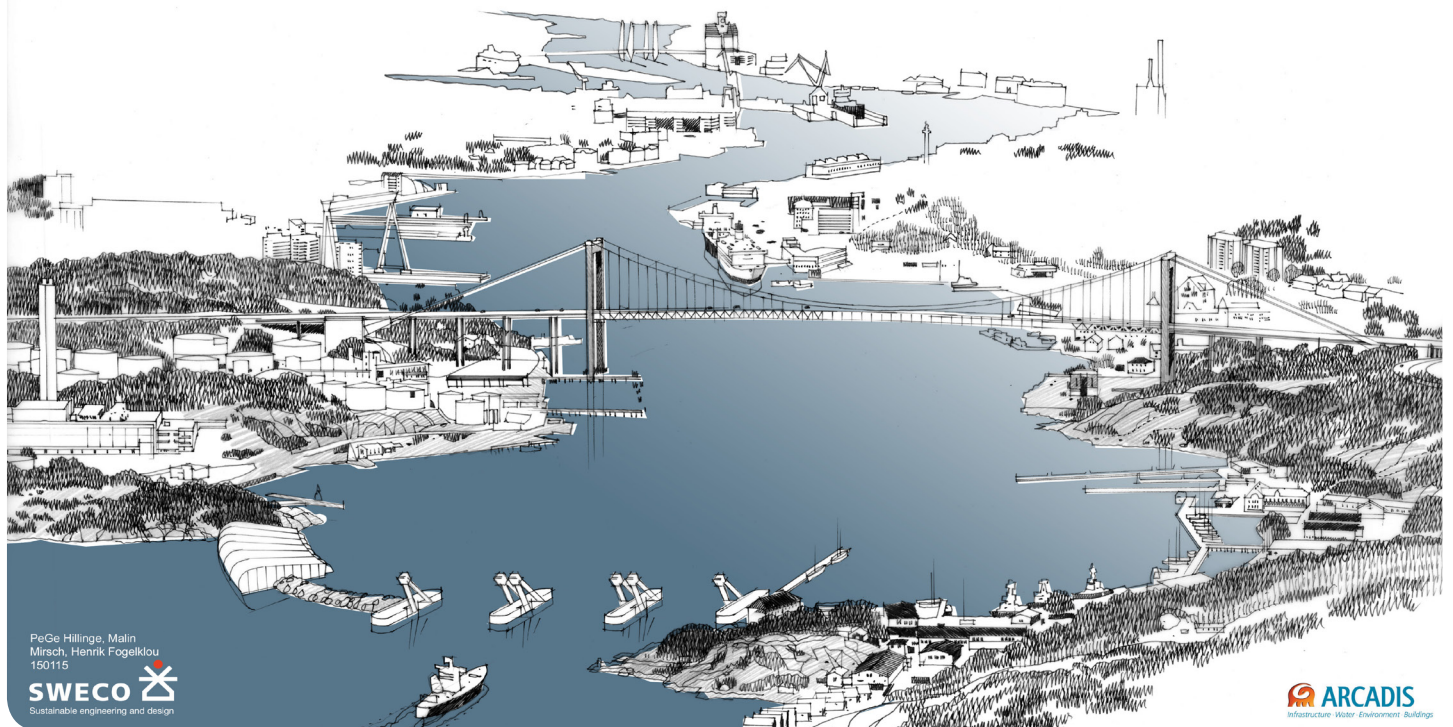
PaGe Hillinge, Malin
Mirsch, Henrik Fogelklou
150115
SWECO
Sustainable engineering and design

ARCADIS
Infrastructure Water Environment Buildings

Figur 41. Tidig idéskiss för en skyddsport (öppna portar) i Göteborgsgrenen (Sweco, 2015).

STORMBARRIÄR ÄLVSBORGSBRON

ALTERNATIV B, ÖPPEN



PaGe Hillinge, Malin
Mirsch, Henrik Fogelklou
150115
SWECO
Sustainable engineering and design

ARCADIS
Infrastructure Water Environment Buildings

Figur 43. Tidig idéskiss för utformning av skyddsport (öppna portar) i Göteborgsgrenen (Sweco, 2015).

Aspekter att beakta och osäkerhetsfaktorer

Under projektets gång har ett antal antaganden gjorts gällande belastning, skyddsportens funktion, miljöaspekter etc. De antaganden som har gjorts, och som bedöms ha stor inverkan på skyddsportssystemet, listas i nedanstående tabell.

Aspekt	Inkluderas i nuvarande utformningsförslag	Aspekt att beakta inför framtida studier
"Stående våg"	Fenomenet "stående våg" uppstår under perioder i havsområdet mellan Sverige och Danmark, och modelleras som en statisk vattennivå. Höjden för denna "stående våg" har erhållits från modelleringsexpertis.	Belastningen från en "stående våg" bör modelleras dynamiskt för att en exakt belastningsmängd ska kunna ansättas. Höjden på den "stående vågen" bör modelleras för att kunna bedöma belastningsförhållanden i detalj.
Skredrisk i längs Göta älvdalen	Skred kan orsakas av vågflöden orsakade av avrinning i Nordre älvgrenen eller Göteborgsgrenen, alternativt orsakas av att skyddsportar stängs för snabbt.	De konsekvenser som skred kan medföra för magasineringsområdet bör undersökas mer i detalj. En blockering i Nordre älvgrenen eller Göteborgsgrenen kan resultera i alltför höga vattennivåer. Stängningsprocessen bör modelleras mer i detalj. En alltför snabb stängning kan medföra vågproblematik. "Plötsliga" variationer i vågor kan orsaka instabilitet i älvstränderna. Vågor orsakade av portsystem som stängs långsammare, minskar även risken för strandinstabilitet.
Utformning av skyddsport	Skyddsporten är lokaliserad i en älvbädd som består av ett lerlager med ca 100 m djup. Detta jordlager har stor påverkan på utformningen av skyddsportens fundament och pyloner.	Jordlagrets karaktär bör utredas mer i detalj.
Pumpstation	Pumpstationen är belägen på ett grunt område av älven. Denna lokalisering kan reducera kostnaden för pumpstationen. Den ytliga sektionen kan möjligen begränsa in- och uttaget av vatten i pumparna.	Djupprofilen i det ytliga området bör utredas mer i detalj. Flödes hastigheten och vattenintagsaspekter bör adresseras mer i detalj mha. modellering. Kanaler för vattenintag kan breddas genom muddring.
	Pumpstationens kapacitet måste vara hög med anledning av det tänkbart höga flödet i Göta älv. Flödet ansätts enligt ett konservativt antagande.	En optimering kan göras genom att inkludera Vänerns flödesreglering. Pumpkapaciteten kan begränsas genom att minska flödet till Göta älv. Målet är att reducera pumpkapaciteten till ett absolut minimum.
	Pumparna används infrekvent och kan ta skada av att bli oanvända.	Underhåll och testprocedurer bör inkluderas i utformningen. Dessa aspekter ingår dock inte i denna förstudie.
	Ett stormflöde kan uppstå under vinterperioden, då även isbildning kan uppstå i skyddsportens närområde. Drivande isflak kan påverka vattenintaget vid pumpstationerna.	En mer detaljerad utformning bör göras för vattenintaget vid pumpstationen, vilken bör inkludera risken för isbildning bakom skyddsporten.

Portutformning	<p>En bredd på 50 m väljs utifrån formler för utformning (god väderlek, sikt, låga flödes hastigheter, låg vindhastighet). Denna bredd bör verifieras mer i detalj.</p>	<p>Detaljerade studier av sjöfart har genomförts, avseende manöverbarhet av fartyg i Göta älv under olika väderförhållanden. En detaljerad studie av sjöfart bör genomföras avseende säkerhetsaspekter för Stenafärjor samt kryssningsfartyg som passerar skyddsporten. Skyddsportens bredd kan ökas upp till 80 m i syfte att förbättra sjöfartsförhållanden, men då bör fundamentrelaterade och geotekniska aspekter beaktas. En alternativ utformning har föreslagits av förstudiens externa granskare, vars förslag innefattar en större öppning på 100 m samt en "flytport" vilken i stängt läge förvaras i en stödkonstruktion i älven. Den stora öppningen justeras utefter farleden under Älvsborgsbron för att kunna hantera större fartyg. En sekundär öppning för inlandssjöfart inkluderas också i förslaget. Denna lösning förväntas bli dyrare än den lösning som prioriterats i urvalet. Vidare så är alternativet med flytport ett relativt innovativt förslag vilket medför en potentiellt högre riskfaktor jfr. en traditionell skyddsport. Därför bör detta förslag endast beaktas i det fall det prioriterade skyddsportsalternativets konsekvenser för sjöfarten bedöms bli för stora. En skiss för detta alternativa förslag redovisas i <i>Bilaga 5</i>.</p>
	<p>Ett flöde sker till älven under tiden då skyddsporten är stängd. Älvens flödes hastighet kan medföra en påverkan på portens stängningsmekanismer.</p>	<p>Skyddsportens påverkan av en hög flödes hastighet bör undersökas vidare i en detaljerad studie.</p>
Kvillebäcken	<p>Kvillebäcken kopplar samman Nordre älvgrenen och Göteborgsgrenen. Till bäcken hör även en vattendelare. Under normala förhållanden flödar inte vatten från Nordre älvgrenen till Göteborgsgrenen. Vatten kan möjligen flöda från Nordre älvgrenen till Göteborgsgrenen under stormförhållanden.</p>	<p>Vattennivån och älvbäddsnivån vid Kvillebäckens vattendelare bör undersökas i detalj. Det bör utredas huruvida vatten flödar från Nordre älv till Göteborgsgrenen, varvid det kan uppstå behov av en mindre skyddsport i Kvillebäcken.</p>

Stora ån / Balltorpsbäcken	Det är i dagsläget oklart hur flödet från Stora ån/Balltorpsbäcken förhåller sig till Mölndalsåns flöde. Denna sammankoppling bör utredas vidare för att säkerställa att inget bakvatten från Askimsviken når Mölndalsån vid en framtida maximal högvattennivå. Möjligen kan en mindre skyddsport behövas för detta vattendrag.	Utreda sammankopplingen (plushöjden) mellan Stora ån / Balltorpsbäcken och Mölndalsån på samma sätt som för Kvillebäcken. Utreda behovet av mindre skyddsport.
Drift och kontroll	Pålitligheten i skyddsportens funktioner är till stor del påverkad av den mänskliga faktorn (drift och underhåll) samt tekniska fel.	Den mänskliga faktorns påverkan och riskern för tekniska fel bör utredas vidare i efterföljande studier
	Temperaturer och vatten/is kan påverka skyddsportens drift. Ex. kan skyddsportar fastna under längre värmeperioder, eller drabbas av isbildning vintertid.	Effekterna av ett föränderligt klimat och det förändrade klimatets påverkan på skyddsporten bör utredas vidare i en efterföljande studie.
Konstruktion	Konstruktion av skyddsporten sker i en närliggande kanal. Under konstruktionsskedet stoppas all sjöfart i kanalen.	En konstruktionsplan för skyddsporten måste upprättas, vilken tar upp aspekten om stoppad sjöfart under konstruktionsskedet.
	Säsongsvariationer kan påverka konstruktionsplaneringen	Säkerställa att portkonstruktionen kan genomföras under perioder med goda väderförhållanden, temperaturer, laxvandring i Säveån etc.
Bottenskydd	Under normala förhållanden är flödes hastigheten begränsad. Under skyddsportens stängningsprocess samt i det fall skyddsporten inte kan stängas, kommer vattenflödet att öka markant.	Ett bottenskydd bör inkluderas i utformningen. En tumregel för bottenskyddets bredd i samband med mindre skyddsportar är ca 10 gånger djupet. För en skyddsport vid den aktuella lokaliseringen, bör en mer konservativ bredd tillämpas, förslagsvis 15 gånger djupet.

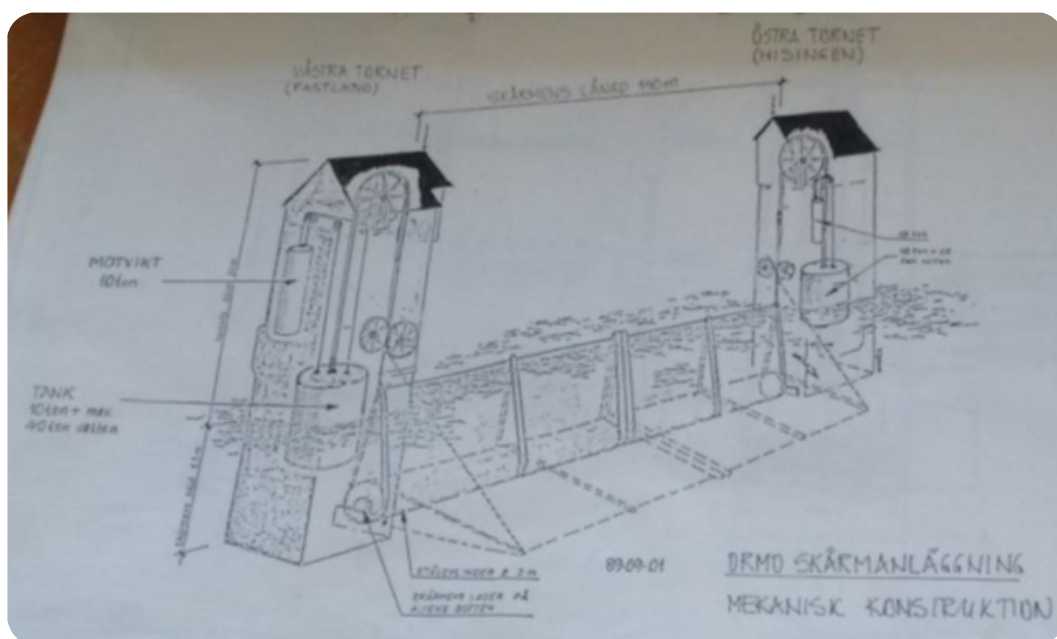
Tabell 9. Aspekter att beakta vid fortsatta studier, samt osäkerhetsfaktorer.

4. Utformning av skyddsportar i Nordre älvgrenen

Nuvarande situation

En alternativ lokalisering för en skyddsport i Nordre älvgrenen är vid förgreningen i Göta älv, i höjd med Kungälv. Ett antal skisser för en skyddsport i detta område bifogas i Bilaga 8. Värt att notera är att ingen specifik bedömning eller analys har gjorts för detta lokaliseringsval eller för olika portalternativ vid denna alternativa plats.

Den uppströms liggande skyddsporten i Göta älv föreslås att lokaliseras i Nordre älvgrenens utlopp, dvs. den norra grenen av Göta älv. Nordre älv trafikeras i dagsläget endast av fritidsbåtar och emellanåt av turistbåtar. Vattendjupet i huvuddelen av denna del av älven är uppskattningsvis ca 10 m, men vid själva utloppet mot havet bedöms djupet endast vara ca 3 m eller ytligare. Längre uppströms i älven finns i dagsläget den s.k. "Ormoskärmen", vilken används för att reglera flödet i Nordre älv samt för att reglera saltvattenmängder som flödar in från havet. En skiss samt foto av Ormoskärmens anläggning framgår nedan.



Figur 44. Ritning av den befintliga Ormoskärmens anläggning.

Flödet i Nordre älvgrenen utgör i genomsnitt 70 % av det totala flödet i Göta älv (varvid 30 % flödar i Göteborgsgrenen). Under stormtillfällen så kan dock flödesmängden minska när havsvattennivån är som högst.

Nordre älvs estuarie är ett område känsligt för påverkan, särskilt avseende påverkan på saltvattenbalansen i vattnet. Av denna anledning bör de konsekvenser för saltvattenhalten, som uppstår av en stängd respektive öppen skyddsport, reduceras till ett minimum.



Figur 45. Ormoskärmen så som den ser ut i dagsläget.

Flödet i Nordre älvgrenen regleras huvudsakligen av dammar vid Vänern samt av ett antal biflöden uppströms i Göta älv. Följande flödesförhållanden har använts vid framtagandet av skyddsportsförslag:

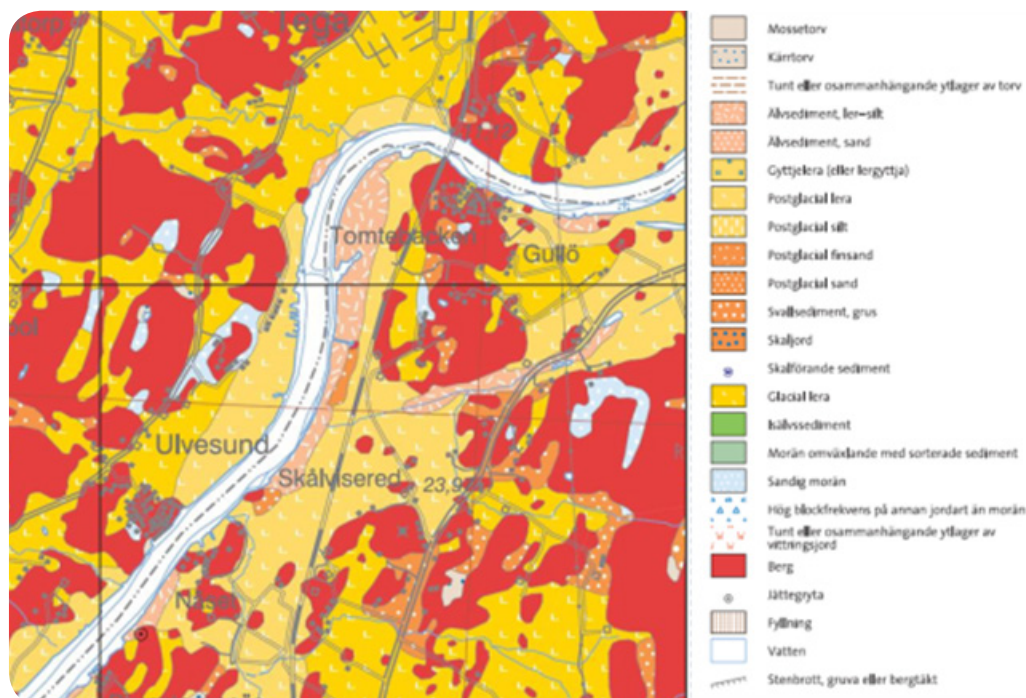
- Stormen Gudrun används som en referens för stormtillfälle, vars flöden finns samlade i Bilaga 6
- För höglödestillfällen, utan stormflöde, ansätts 1 030 m³/s i Göta älvs uppströms liggande del (vattendom)
- För höglödestillfällen i framtiden, utan stormflöde, ansätts 1 800 m³/s i Göta älvs uppströms liggande del.



Figur 46. Översikt av Nordre älvs utlopp till havet.

Geotekniska förhållanden

I området, där Ormoskärmen i dagsläget är belägen, visar undersökningar att terrängens topografi varierar mellan ganska plana områden i dalgången till något högre berg på ömse sidor. På östra sidan ansluter Ormoskärmen till en låglänt äng, och på västra sidan övergår låglandet i ett 10-tal m högre bergområde. Lerlagrets mäktighet är ca 15 m och bergnivån ligger på 15-25 m djup. Sandlagret har en mäktighet av ca 5 m överlagrat berg mot respektive strand.



Figur 47. Jordartskarta för det aktuella området (SGU, Jordartskartan).

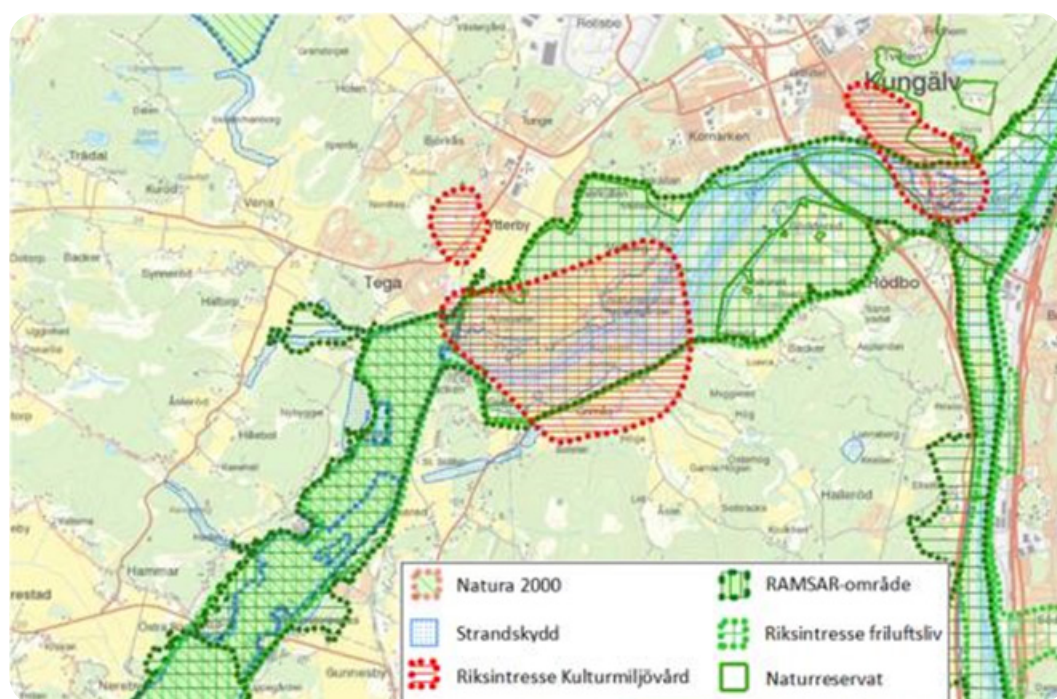
Tillståndsprövning - Miljöförutsättningar i Nordre älvgrenen

Ett flertal naturrestriktioner förekommer i området bl.a. Göta och Nordre älvs dalgångars naturreservat, Natura 2000-områden (Art- och habitatdirektivet samt Fågeldirektivet), riksintresse för naturvård, ett RAMSAR-område samt strandskydd, se nedanstående figur. I området finns även riksintresse för kulturmiljövård och friluftsliv samt ett flertal fornlämningar.

Skyddsporten bedöms medföra miljöpåverkan under såväl anläggandeskedet, som marginellt under driftskedet. Påverkan på vattenmiljön utreds även i Bilaga 10 (öppna respektive stängda portar). Därav kommer anläggande av skyddsporten kräva tillståndsprövning enligt Miljöbalken. Det bör även beaktas att ett förslag till nya vattenrättsliga bestämmelser nyligen har lyfts fram till Riksdagen, vilket kan medföra nya miljöjuridiska förutsättningar i framtiden.

Med hänvisning till andra infrastrukturprojekt med motsvarande omfattning och kontext, dvs. anläggande av större strukturer i vattenmiljö, är följande aspekter viktiga att beakta i ett tidigt skede;

- Risk för spridning av (potentiellt förorenade) muddermassor under anläggningskedet.
- Framtida planer för sjöfartsverkssamhet ex. turisttrafik
- Sociala aspekter ex. riksintresse för friluftsliv



Figur 48. Översikt av de naturrestriktioner som gäller i området (Länsstyrelsens WebbGIS, 2015).

Operationell kontextbeskrivning (OCD)

Under normala förhållanden är Nordre älvgrenens utlopp öppet. Flödet i älven flödar fritt ut i havet. Fartyg och båtar kan passera den öppna porten genom en större passage respektive genom mindre öppningar i skyddsporten.

Innan ett stormtillfälle varnas berörd sjöfart. Skyddsporten stängs och håller stormflödet ute. Överskottet av vatten bakom skyddsporten pumpas ut. Skyddsporten stängs vid en vattennivå på 1,4 m vid nuvarande förhållanden. År 2150 stängs skyddsporten vid en nivå på 2,1 m (inklusive havsvattenhöjning). Den maximalt tillåtna vattennivån innanför skyddsporten (2,3 m) regleras genom pumpning.

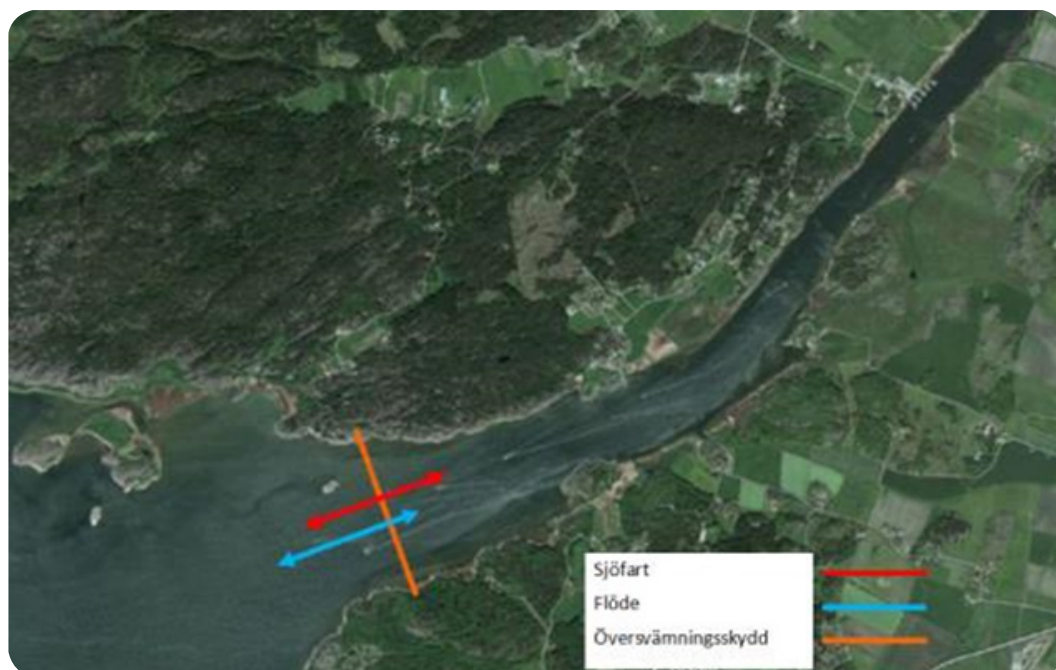
Inventering av funktioner och aspekter

De funktioner som skyddsporten i Nordre älvgrenen måste kunna uppfylla redovisas i figur 49.

I det fall en skyddsport finns på platsen, kommer följande funktioner att vara möjliga:

- Översvämningsskydd
- Hantering av Nordre älvgrenens flöde
- Framkomlighet för sjöfart
 - Fritidsbåtar
 - Turistbåtar
- Reglering av salthalt i älven (motsvarande Ormoskärmens funktion i dagsläget)

Störning av sjöfarten bedöms vara acceptabelt under stormtillfällen, men bedöms inte vara acceptabelt under icke-stormperiod. Störning av älvflödet bedöms inte vara acceptabelt när den kritiska vattennivån för Göteborgs stad (MW +2,3 m) överskrids. I detta fall måste vattennivåerna regleras genom pumpstationer vid skyddsporten.



Figur 49. Funktionerna som skyddsporten i Nordre älvgrenen måste kunna uppfylla.

Lokalisering av skyddsport i Nordre älvgrenen

Inledningsvis har tre lokaliseringar föreslagits för en skyddsport i älven. Dessa platser presenteras i nedanstående figur. Lokalisering 1 och 2 uppvisar snarlika förutsättningar då båda är belägna i känslig naturmiljö vid Nordre älvgrenens mynning. Lokalisering 3 är belägen på samma plats som den befintliga Ormoskärmen, en bit uppströms i älven. För att kunna välja ut den bäst lämpade lokaliseringen för anläggandet av en skyddsport, görs en bedömning av respektive lokaliseringsalternativ. Bedömningarna framgår i nedanstående tabeller. Lokalisering 3 vid Ormoskärmen bedöms vara det bäst lämpade alternativet och det alternativ som är mest kostnadseffektivt, varför detta alternativ väljs ut för en fördjupad studie. Det valda alternativet är även det alternativ som medför minst intressekonflikt med naturvärden (Natura 2000) då en befintlig struktur redan finns på plats.



Figur 50. Lokaliseringsalternativ för en skyddsport i Nordre älvgrenen.

Aspekt	Lokalisering 1	Lokalisering 2	Lokalisering 3
Naturvärden och behov av tillstånd för miljöpåverkan avs. Natura2000 etc.	- - Höga naturvärden. Känslighet för förändringar i vattenbalans. Svårighet att få tillstånd enl. Miljöbalken	- - Höga naturvärden. Känslighet för förändringar i vattenbalans. Svårighet att få tillstånd enl. Miljöbalken.	+ + Mindre känsligt naturområde jfr. övriga alternativ.
Historiska värden	0	- - Historiska värden vid älvstranden.	0
Skyddade områden	+ Störst område som skyddas bakom skyddsporten	0	- Minst område som skyddas bakom skyddsporten.
Totalpoäng (viktat)	-2	-4	1
Bedömd kostnadsrankning	1 Störst bredd	2 Större bredd jfr. Lokalisering 3, men mindre än lokalisering 1.	3 Kombinerar ett ersättande av befintlig Ormoskärm med en ny skyddsport. Möjlighet till delad kostnad med Vattenfall.
Slutlig bedömning	Ej vald. Låga poäng och hög kostnad	Ej vald. Låga poäng.	Vald. Höga poäng och lägst kostnad.

Tabell 10. Urval av lokaliseringsalternativ.

Krav och Kriterier

De krav som identifierats finns redovisade i Bilaga 1.

Identifiering och verifiering av utformningsalternativ

Ett flertal "byggblock" har definierats för utformningen av skyddsportsalternativ, dessa avser:

- Tillgängliga typer av skyddsport, vilka presenteras längre fram i kapitlet
- Dimensioner för sjöfartspassage
 - Skyddsporten bör utformas så att sjöfart kan passera kajer och strukturer vid porten, samt de icke-rörliga broarna i Kungälv.
- Den maximala flödes hastigheten genom den öppna skyddsporten
 - Flödes hastigheten bör begränsas till mellan 1 m/s och upp till 1,5 m/s. Högre flödes hastigheter är inte tillämpliga då detta, under normala omständigheter kan påverka sjöfarten negativt.
- Pumpstationens kapacitet

Analys av varianter

Genom att använda de "byggblock" som beskrivits i tidigare kapitel, framgår ett flertal olika varianter vilka presenteras nedan. Föreslagna dimensioner för ex. sjöfartspassager framgår i Bilaga 4.

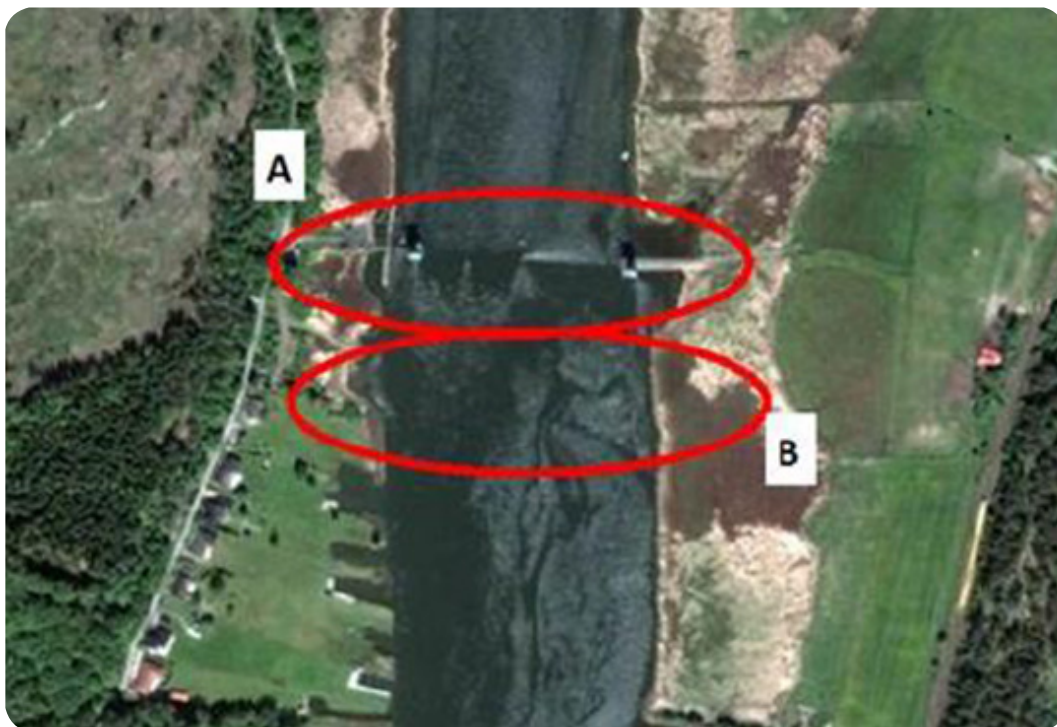
"Byggnadsblock" för flödes hastighet

Flödet genom skyddsporten har beräknats för olika flödesförhållanden i Göta älvs uppströms liggande delar. Flödes hastigheterna presenteras nedan. Tabell 10 visar att flödes hastigheten i dagsläget är lägre än den tillåtna flödes hastigheten på 1 m/s.

Sjöfartspassagen presenteras i nedanstående figur. Nedan visas även tvärsnitt i älven. Figurerna visar att djupet i älven är relativt konstant. Ett djup på 7 m är i huvudsak gällande. En tvärsnittsarea på 1 200 m² har beräknats utifrån Figur 47 och Figur 48.



Figur 51. Sjökort över området.



Figur 52. Lokalisering av tvärsektioner A och B.



Figur 53. Tvärsektion A.



Figur 54. Tvärsektion B.

I samband med skyddsporten i Nordre älvgrenen, kommer tvärsektionerna att vara lägre med anledning av antalet pyloner i Nordre älv. Detta resulterar i högre flöden jämfört med ett ostört älvflöde. Detta bedöms vara nödvändigt för att motverka sedimentbildning på skyddsportens tröskelkonstruktion. Flödeshastigheten bör inte vara så hög att sjöfarten påverkas negativt. Den tillåtna tvärsektionen som återstår, efter det att skyddsporten har anlagts, är;

$$A_{\text{minimum cross section lower limit}} = \frac{1200 \frac{m^3}{s}}{1 \frac{m}{s}} = 1200m^2$$

$$A_{\text{minimum cross section upper limit}} = \frac{1200 \frac{m^3}{s}}{1,5 \frac{m}{s}} = 800m^2$$

Den yta som krävs för skyddsportens pyloner i älven bör inte överskrida $1\,200\text{ m}^2 - 800\text{ m}^2 = 400\text{ m}^2$.

Flödes hastigheten under skyddsportens stängning bedöms inte inom ramen för denna förstudie, men bör utredas i detalj vid framtida studier.

Vänerns flöde	Göta älvs flöde (vid Göteborg)			Tillåten
1030 m ³ /s (Vattendom)	686 m ³ /s	1 200 m ²	0,6 m/s	1 – 1,5 m/s
1800 m ³ /s (beräknat framtida flöde enl. Hydromodell Göteborg)	1 200 m ³ /s	1 200 m ²	1 m/s	1 – 1,5 m/s

Tabell 11. Krav på flödes hastighet, att beakta vid utformning av pyloner.

”Byggnadsblock” för typ av skyddsport

För den valda lokaliseringen samt den maximalt accepterade blockeringen i Nordre älvgrenen, har ett flertal skyddsportsalternativ identifierats, se nedanstående tabell.

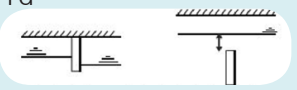

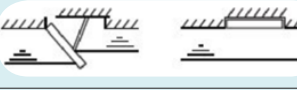
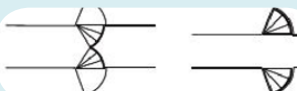
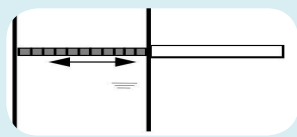
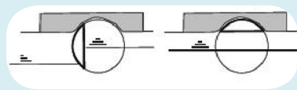
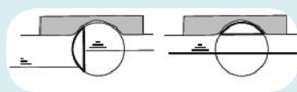

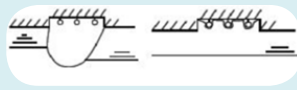
Sjöfart medför endast en mindre påverkan vid valet av skyddsportar, då mindre fritidsbåtar använder den mindre slussen vid sidan om skyddsporten. Detta sker redan i dagsläget, vid den befintliga Ormoskärmen. Större båtar, liksom turistbåtar, passerar idag genom att kontakta en central operatör, vilken då tillåter passage. Enligt turistbyrån Strömma, sker i dagsläget turistturer runt Hisingen med en typ av turistbåt som är 32,5 m bred och 1,5 m djup. Under en kortare period sänks skärmen och den större båten kan passera. Lämpliga varianter att använda för multikriterieanalys bedöms vara **1a, 2, 3, 5a** samt **7**, se tabell 11.



Figur 55. Den befintliga Ormoskärmen har idag en särskild passage för mindre fritidsbåtar.



Figur 56. Turistbåt som trafikerar Nordre älv (källa: Strömma).

Kod ("block")	Beskrivning	Resultat av utvärdering	Första bedömning
1a 	Lyftport med två större öppningar, tre pyloner.	Uppfyller kraven.	Bedöms som lämplig.
1b 	Lyftport med flera mindre öppningar, flera pyloner.	Uppfyller kraven.	Bedöms ej som lämplig. Färre pyloner medför en mindre påverkan på älvflödet och naturvärden.
2 	Fällbar port.	Uppfyller kraven. Gångjärn under vatten medför viss risk för reliabilitet och underhåll.	Bedöms som lämplig.
3 	Horisontal sektorport.	Uppfyller kraven.	Bedöms som lämplig.
4 	Rullport.	Uppfyller kraven.	Bedöms ej som lämplig. Rullporten uppfyller kraven, men med tanke på estuariets känslighet för saltvattenbalans kan konsekvenserna bli stora om större konstruktioner anläggs i älven.
5a 	Nedsänkt segmentport, större passager med färre pyloner.	Uppfyller kraven.	Bedöms som lämplig.
5b 	Nedsänkt segmentport, mindre öppningar med fler pyloner.	Uppfyller kraven.	Bedöms ej som lämplig. Fler pyloner medför en större inverkan på vattenflödet och naturvärden.
6 	Slussport (mitre gate).	Uppfyller kraven.	Bedöms ej som lämplig. Maximal bredd på denna porttyp är 25-50 m. Därför krävs en större konstruktion för att förvara portarna i stängt läge. Med en portbredd på 50 m och vid ett högfllöde, kommer porten ej att kunna öppnas/stängas.
7 	Uppblåsbar port.	Uppfyller kraven.	Bedöms som lämplig.

Tabell 12. Urval av skyddsportalternativ.

Multikriterieanalys av återstående alternativ

Alternativ 1a (lyftport) uppvisar goda tekniska förutsättningar. En lyftport är minst krävande ur ett underhållsperspektiv och är ett mindre kostsamt alternativ. Samtidigt så medför lyftportsalternativet en förhållandevis stor inverkan på landskapsbilden då det krävs höga lyfttorn på älvstränderna samt i själva älven. Vidare så bedöms även pyloner som anläggs i älven att kunna störa flödesförhållanden och möjligen påverka naturmiljön negativt. För att reducera konsekvenserna av ett lyftportalternativ, bör portarna utformas så breda som möjligt. Därmed bedöms alternativet lyftport vara ett möjligt alternativ för lokalisering 3.

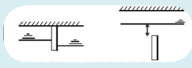
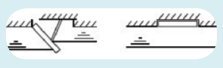
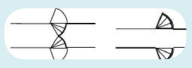
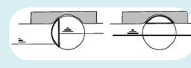
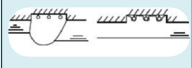
Alternativ 2 (fällbar port) bedöms ha störst fördelar i fråga om miljö- och landskapspåverkan. Det finns dock ett antal nackdelar kopplade till underhållsaspekter. Fällbara portar är permanent belägna under vattnet och medför därför vissa svårigheter för underhållsarbete. Av denna anledning, samt med anledning av porttypens minskade miljöpåverkan, bedöms fällbara portar vara ett rimligare alternativ för lokaliseringar 1 och 2. Det bör beaktas att problem med sedimentation kan uppstå i de fall fällbara portar skulle anläggas vid dessa lokaliseringar.

Alternativ 3 (horisontal sektorport) är en möjlig lösning men uppvisar en svaghet i att kunna hantera effekten av "negativ vattennivå" vilket kan orsakas av en "stående våg" som uppstår mellan Danmark och Sverige. Det bedöms också finnas risk för problem i samband med isbildning. Alternativ 3 är dessutom ett relativt kostsamt alternativ. Med anledning av ovanstående bedöms inte alternativ 3 vara lämpligt att gå vidare med.

Alternativ 5 (variant av nedsänkt segmentport) är en möjlig lösning. Påverkan på landskapsbilden är mindre jämfört med alternativet lyftport, då det inte behövs några höga lyfttorn. Alternativet är fördelaktigt avseende underhållsaspekter då det inte förekommer några rörliga delar permanent på älvbotten. En viss miljöpåverkan bedöms kunna uppstå. För att minska portalternativets påverkan på miljön bör portarnas vara så långa som möjligt för att på så sätt minska antalet pyloner i älven. En fördel med nedsänkta segmentportar är att detta alternativ även kan användas för att reglera salthalten under lågvatten, motsvarande den befintliga Ormoskärmen.

Sammanfattningsvis bedöms två alternativ vara bäst lämpade för lokalisering 3:

- Alternativ 1a Lyftport
- Alternativ 5a Nedsänkt segmentport

					
Kriterium	1a; Lyftport, större öppning med fåtal pyloner	2; Fällbar port	3; Horisontal sektorport	5a; Nedsänkt segmentport, större öppning, fåtal pyloner	7; Uppblåsbar port
Pålitlighet som översvämnings-skydd	++ Inga rörliga delar på botten, portar stängs mha. gravitation.	-- Sedimenteringsproblem vid gång- järn, känslighet vid isbildning	- Känslig för slitage, känslighet vid isbildning	+ Inga rörliga delar på botten, sedimentationsrisk beaktas	+ Inga rörliga delar på botten,

Reliabilitet vid reglering av flöden och salthalt	- Flödesreglering möjlig, ej optimal för salthaltsreglering	- Flödesreglering möjlig, ej optimal för salthaltsreglering	- - Varken flödes- eller salthaltsreglering är möjlig	++ Möjligt att reglera såväl flöde som salthalt	- Ej möjligt att reglera flödet, möjligt att reglera salthalten
Komplexitet i underhåll	++ Lyftportar är placerade i torr miljö och kan enkelt underhållas	- - Gångjärn under vattenytan	- "Bollgångjärn", känslighet för slitage, kan underhållas i torr miljö.	0 Inga rörliga delar på botten, viss risk för sedimentation	-- Aktivering under vattenytan
Risk vid anläggande	0 Normal konstruktion	0 Normal konstruktion	+ Konstruktion i torr miljö	0 Normal konstruktion	- Kräver flertal kopplingar mellan uppblåsbar port och tröskelkonstruktion
Miljöpåverkan	- Skyddsportens pyloner och tröskel påverkar naturvärden	++ Endast en störningsfaktor på älvbotten, inga pyloner	++ Endast en störningsfaktor på älvbotten, inga pyloner	- Störning på naturvärden av pyloner och tröskel i vattnet	- skyddsportens pyloner och tröskel påverkar naturvärden
Energi-konsumtion	0	0	0	0	0
Påverkan på landskapsbild	- - Kräver höga lyfttorn vilka kan påverka landskapsbilden	++ Skyddsporten placeras under vattenytan	- - Stora kantstöd i älvstranden	0 Endast pyloner är belägna i älven	0 Endast pyloner är belägna i älven
Total poäng (neutral viktning)	0	-1	-3	-3	-5
Bedömd kostnadsrankning	1	3	4	2	3
Slutlig bedömning	Möjlig lösning. Risk för påverkan på landskapsbild samt naturvärden.	Möjlig lösning. Komplex underhållsarbete bör beaktas	Möjlig lösning. Risker vid is- bildning och "negativ vattennivå" bör beaktas.	Möjlig lösning. Viss risk för påverkan på naturvärden.	Bedöms ej som lämplig, har lägst poäng och höga kostnader.

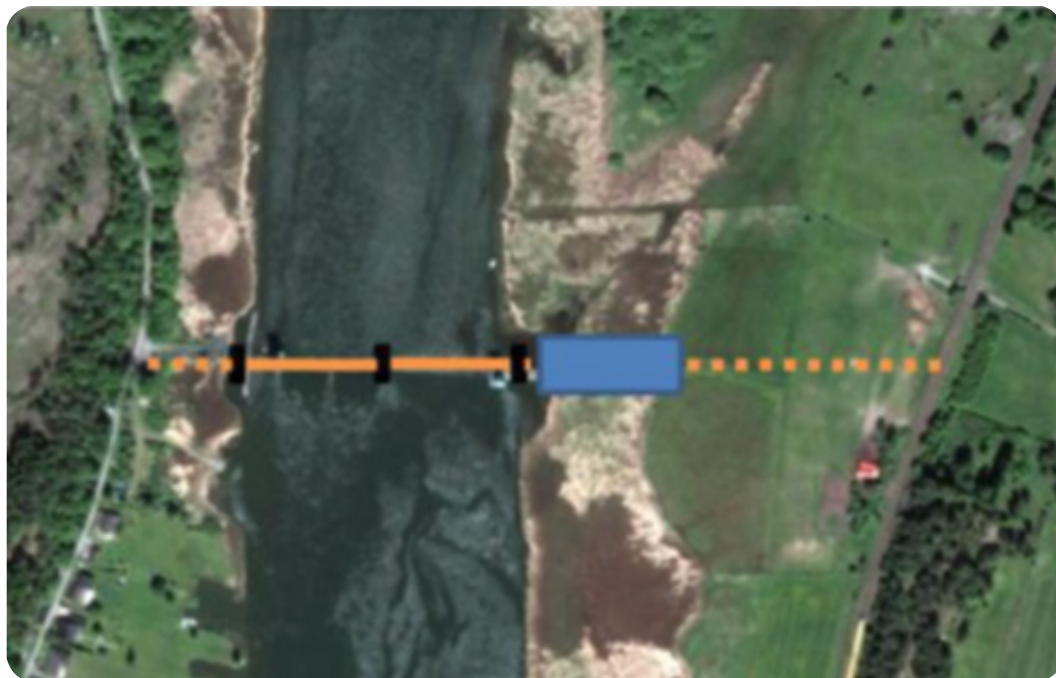
Tabell 13. Multikriterieanalys av skyddsport i Nordre älvgrenen

Fördjupad studie av förslaget skyddsportsalternativ

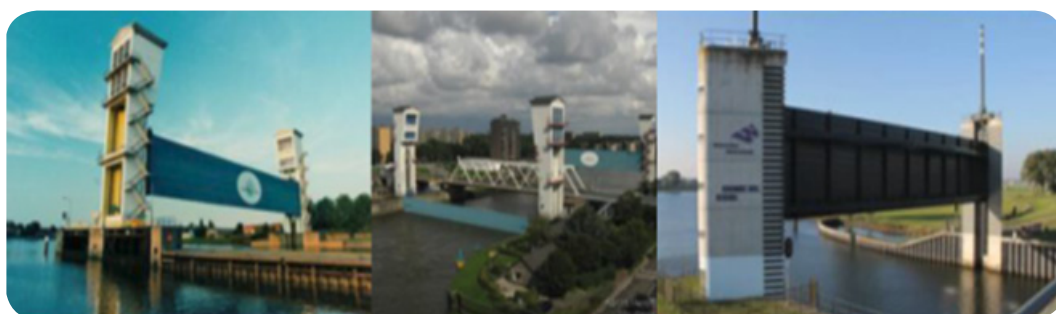
De två alternativ som har valts ut i urvalsprocessen är:

Lyftport

- Två lyftportar, vardera med 75 - 100 m bredd
- Total bredd på 150 - 200 m
- En pylon anläggs i mitten av älven
- Pumpstation anläggs på älvstranden
- Kompletterande skyddsvallar anläggs på närliggande mark



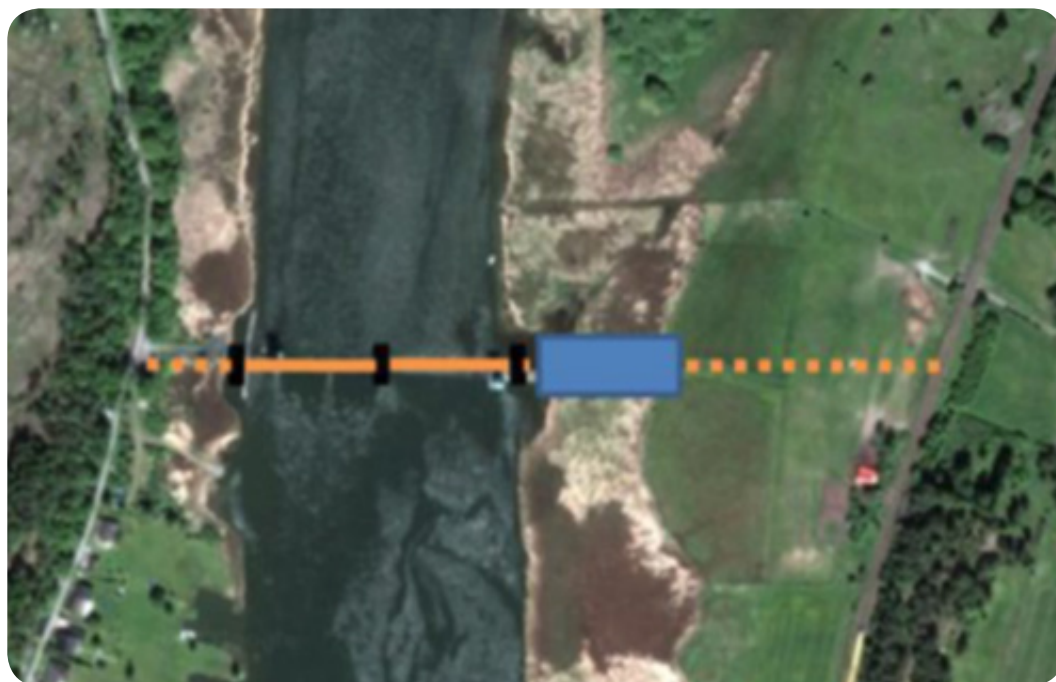
Figur 57. Förslag på lyftport i Nordre älvgrenen, vid den befintliga Ormoskärmen, samt pumpstation (blå polygon) och kompletterande invallning (streckad linje).



Figur 58. Exempel på olika lyftportar i Nederländerna.

Nesänkt segmentsport

- Två nedsänkta segmentportar, vardera med 60 m bredd
- Total bredd på ca 120 m
- En pylon placerad i mitten av älven
- Pumpstation anläggs på älvstranden
- Kompletterande skyddsvallar anläggs på närliggande mark



Figur 59. Förslag på nedsänkt segmentport i Nordre älvgrenen, vid den befintliga Ormoskärmen, samt pumpstation (blå polygon) och kompletterande invallning (streckad linje).



Figur 60. Exempel på olika segmentportar i praktiken.

Vilket alternativ som bedöms som bäst lämpat beror på skyddsportens huvudsakliga funktion:

- Lyftport i syfte att skydda mot ett stormflöde
 - Lägre krav på underhåll
 - Mindre kostsamt
- Nedsänkt segmentport i syfte att skydda mot ett stormflöde samt reglera saltvattennivå:
 - Kombinerar funktionen översvämningsskydd samt saltvattenreglering, eftersom Ormoskärmen ändå måste bytas ut så kan kostnader då besparas.
 - Högre krav på underhåll
 - Mer kostsamt

Val av skyddsport för Nordre älvgrenen

Den avgörande skillnaden mellan en lyftport och en nedsänkt segmentport är att endast det senare alternativet kan användas som en skärm för att också reglera saltvattenhalten i älven. Valet av alternativ är därför avhängigt huruvida skyddsporten även bör ha detta kombinerade syfte i framtiden eller ej. Ett annat tänkbart framtida scenario är att råvattenintaget kan flyttas längre uppströms (alternativ till Väneren) och därmed minska behovet av saltvattenreglering.

I denna förstudie bedöms det som lämpligast att använda skyddsporten för att bibehålla Ormoskärmens funktion som skärm för saltvattenreglering, vilket innebär att **alternativ 5a, nedsänkt segmentport, väljs som det lämpligaste alternativet.** Vidare bör även beaktas de turistbåtar som trafikerar Nordre älvgrenen, vilka har en längd på 32,5 m och ett djup på 1,5 m.

I framtiden kan det möjligen upprättas fler förbindelser (broar, väg, järnväg etc.) mellan Hisingen och fastlandet, vilket bör beaktas. Vid samtliga lokaliseringsförslag i Nordre älvgrenen bedöms alternativet med en bro över skyddsporten inte vara realistiskt och utreds därför inte vidare.

Parameter	Värde	Kommentarer
Antal öppningar för sjöfartspassage	2	-
Öppningens bredd	60 m eller större	Öppningens totala bredd blir ca 120 m
Tröskelnivå	7 m under normal vattennivå i älven	Baseras på nuvarande djupnivå i älven.
Övre nivå på stängd skyddsport	5 m ovan normal vattennivå	Typvattennivån antas vara 3 m ovan normal vattennivå. Beroende på hur hög tolerans som finns för ett överskridande flöde, kommer det s.k. "fribordet" att vara i storleksordningen 0,5 – 2x vindvåghöjden. Våghöjden antas vara ca 1 m (DHI).
Skyddsportens totala höjd	12 m	-
Begränsning i höjddled	Nej	-
Dämpare	Återstår att välja	Olika varianter av marknadsmässiga hydrauliska cylindrar finns att tillgå
Pumpkapacitet	Bedöms i nästkommande underkapitel	-

Tabell 14. Uppskattning av erforderliga dimensioner för en skyddsport i Nordre älvgrenen.

Kapacitet för pumpstation

Vid en första bedömning av hur stor yta som krävs för en pumpstation, görs en jämförelse med den befintligt anlagda pumpstationen "Hooglandgemaal" i Stavoren, Nederländerna. Jämförelsen görs på samma sätt som i kapitel 3 sid 57. Baserat på detta referensobjekt bedöms erforderlig storlek på pumpstationen för två olika scenarion, se nedanstående tabell.

Parameter	Pumpstationens dimensioner (nuvarande förhållanden, utan havsnivåhöjning)	Pumpstationens dimensioner (2150 års förhållande, inklusive havsnivåhöjning)
Kapacitet	339 m ³ /s	533 m ³ /s
Kapacitet för respektive pump	Ca 25 m ³ /s	Ca 25 m ³ /s
Antal pumpar	14	22
Bedömd bredd på pumpstationen	14x10 m + 5 m för bakomliggand struktur = 145 m	22x10 m + 5 m för bakomliggande struktur = 225 m
Bedömd längd på pumpstationen	40 – 60 m	40 – 60 m
*	Den pumpkapacitet som erfordras för en skyddsporten i Nordre älvgrenen redovisas i Bilaga 7. Kapaciteten 1 200 m ³ /s avser det teoretiska maxflödet enligt vattendom. Under ett stormtillfälle kommer dock vattentrycket i höjd med Lilla Edet att vara lägre, vilket resulterar i en lägre flödeskapacitet vid Lilla Edet och Vänern. Exempelvis; I det fall flödeskapaciteten vid Lilla Edet och i Vänern är begränsad, skulle en maximal flödeskapacitet på 1 200 m ³ /s vara alltför konservativt. Det är sannolikt att Vänerns flödeskapacitet kommer att begränsas under ett stormtillfälle.	

Tabell 15. Bedömd storlek för pumpstation vid skyddsport i Nordre älvgrenen, med pumpstationen "Hooglandgemaal" i Nederländerna som referensobjekt.

Kostnader

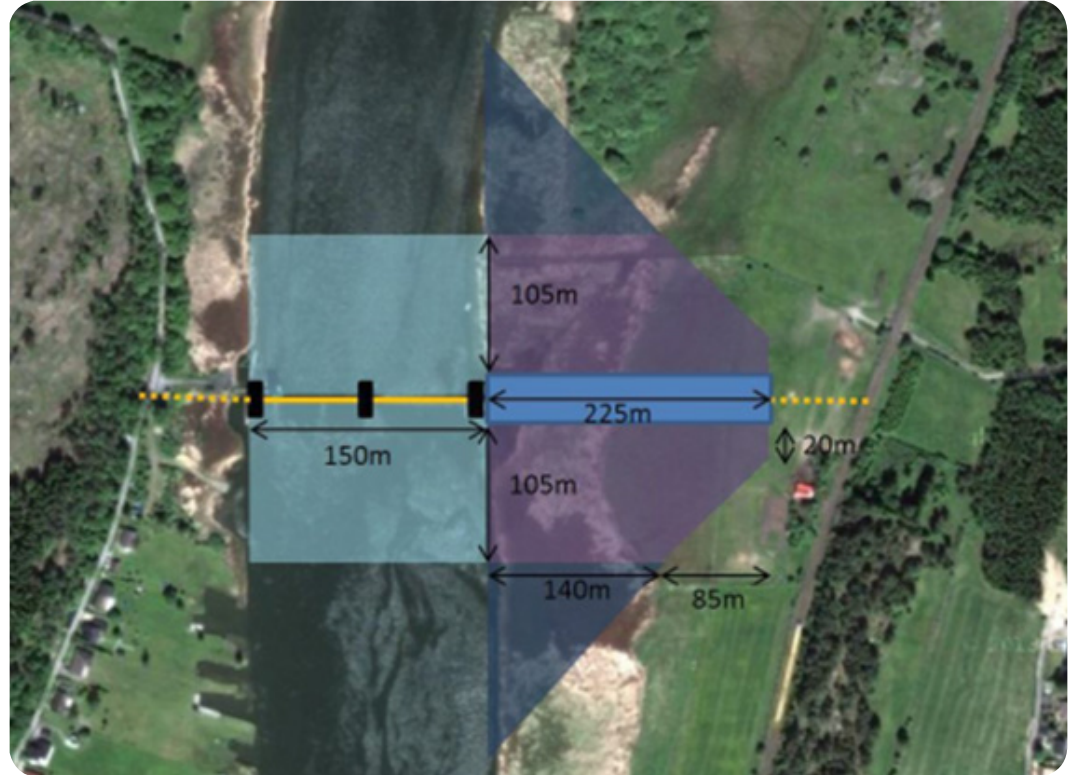
En kostnadsbedömning har genomförts för skyddsportar samt pumpstationer i Göteborgsgreinen respektive Nordre älvgreinen, se Bilaga 9.

Enligt kostnadsbedömningen kommer föreslagen skyddsport i Nordre älvgreinen att kosta mellan **69 - 148 miljoner EUR**. Pumpstationen som föreslås för denna skyddsport bedöms kosta mellan **114 – 243 miljoner EUR**.

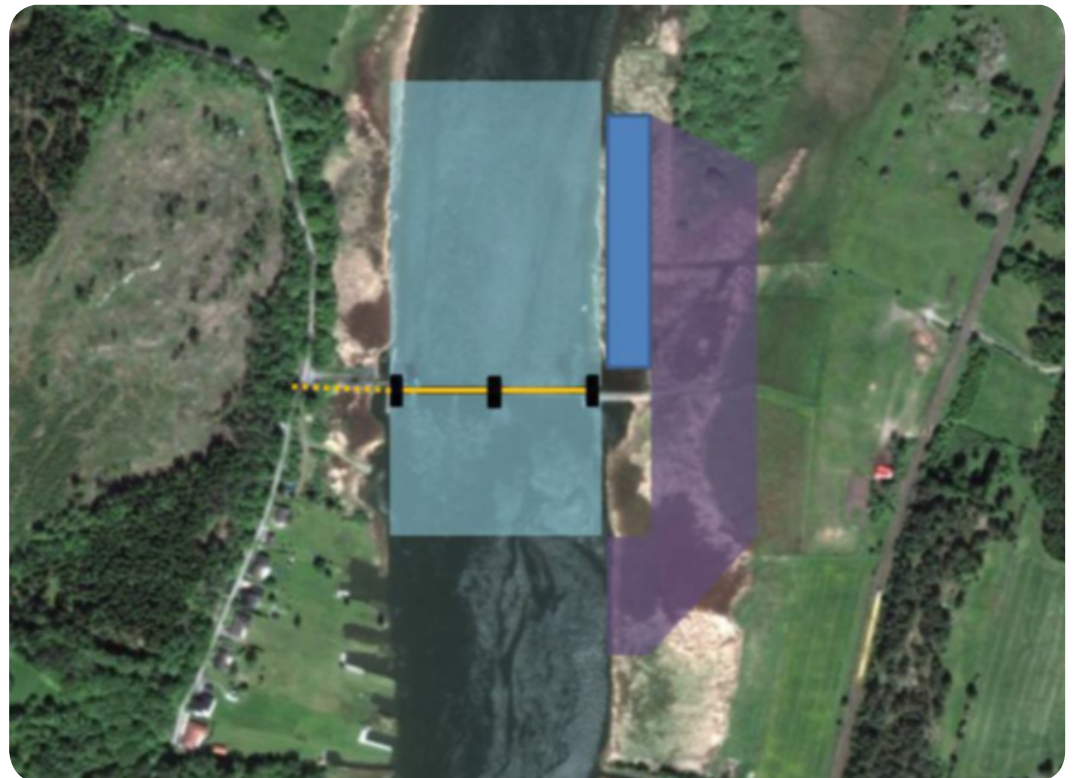
Totalt så bedöms skyddsport samt pumpstation kosta mellan 183 – 391 miljoner EUR, det vill säga mellan ca **1,7 – 3,6 miljarder SEK**.

Översikt och arkitektoniskt förslag

En översikt över skyddsporten och pumpstationens lokalisering framgår i figur 61. Tidiga skissförslag på skyddsportens utformning framgår i figur 63 - 66. Genom att föreslå en alternativ placering av pumpstationen (figur 62) minskar påverkan på landskapsbilden.



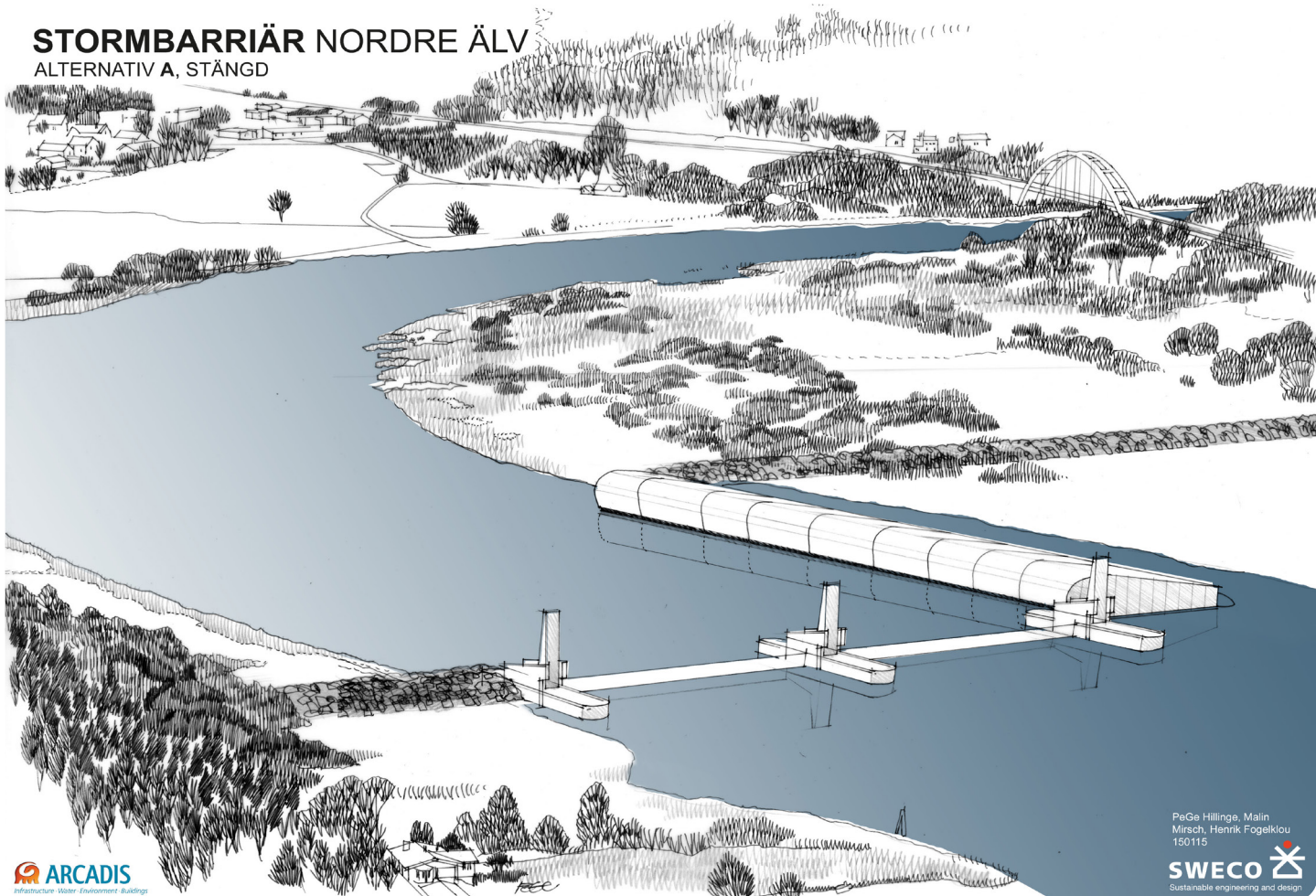
Figur 61. Översikt av skyddsportens läge i Nordre älvgrenen.



Figur 62. En möjlig optimering av pumpstationens läge i samband med skyddsporten i Nordre älvgrenen. Lila = kanal som behöver grävas ut. Blått = pumpstation.

STORMBARRIÄR NORDRE ÄLV

ALTERNATIV A, STÄNGD



ARCADIS
Infrastructure Water Environment Buildings

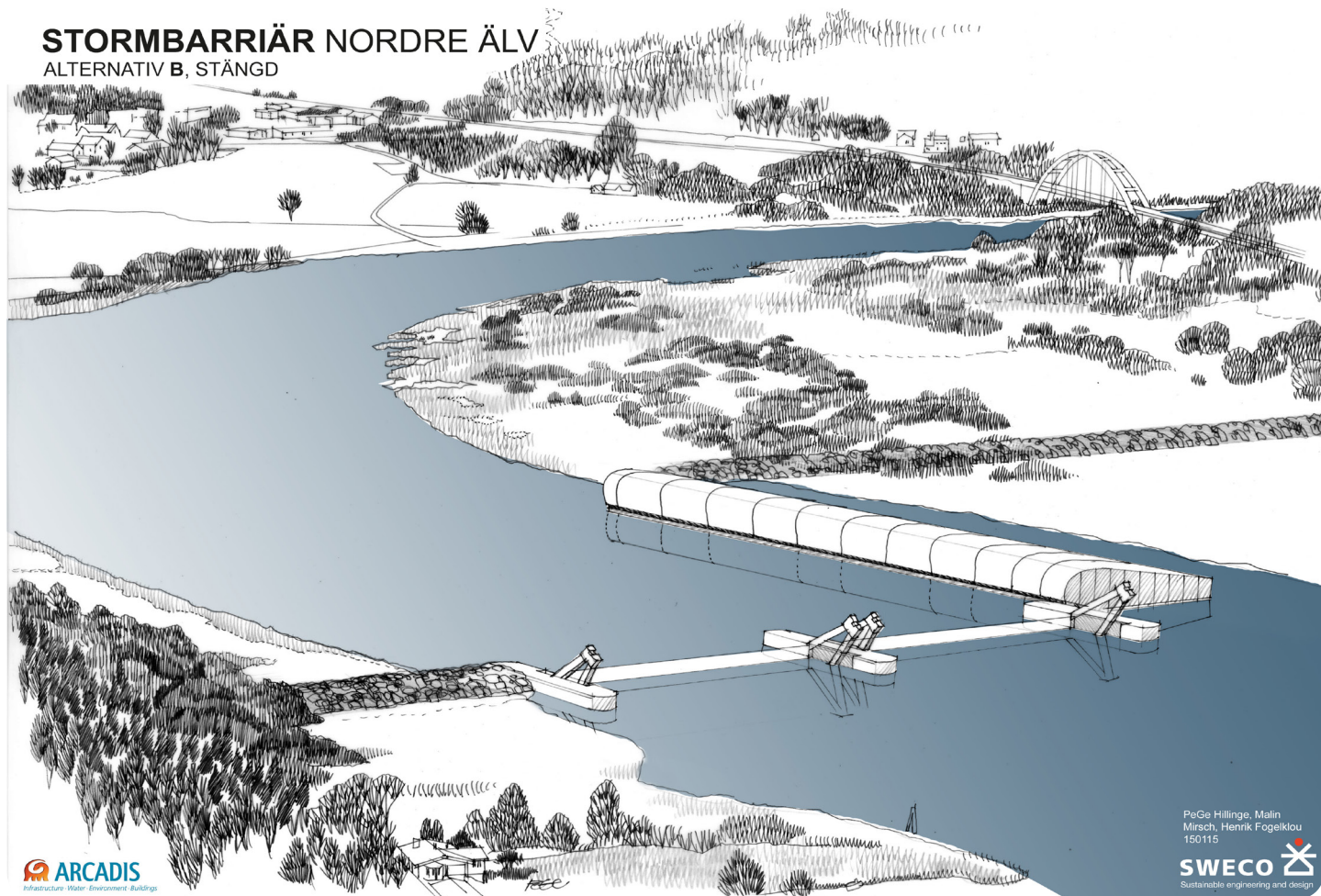
PeGe Hillinge, Malin
Mirsch, Henrik Fogelklou
150115

SWECO
Sustainable engineering and design

Figur 63. Tidig idéskiss för utformning av skyddsport (stängda portar) i Nordre älvgrenen (Sweco, 2015).

STORMBARRIÄR NORDRE ÄLV

ALTERNATIV B, STÄNGD



ARCADIS
Infrastructure Water Environment Buildings

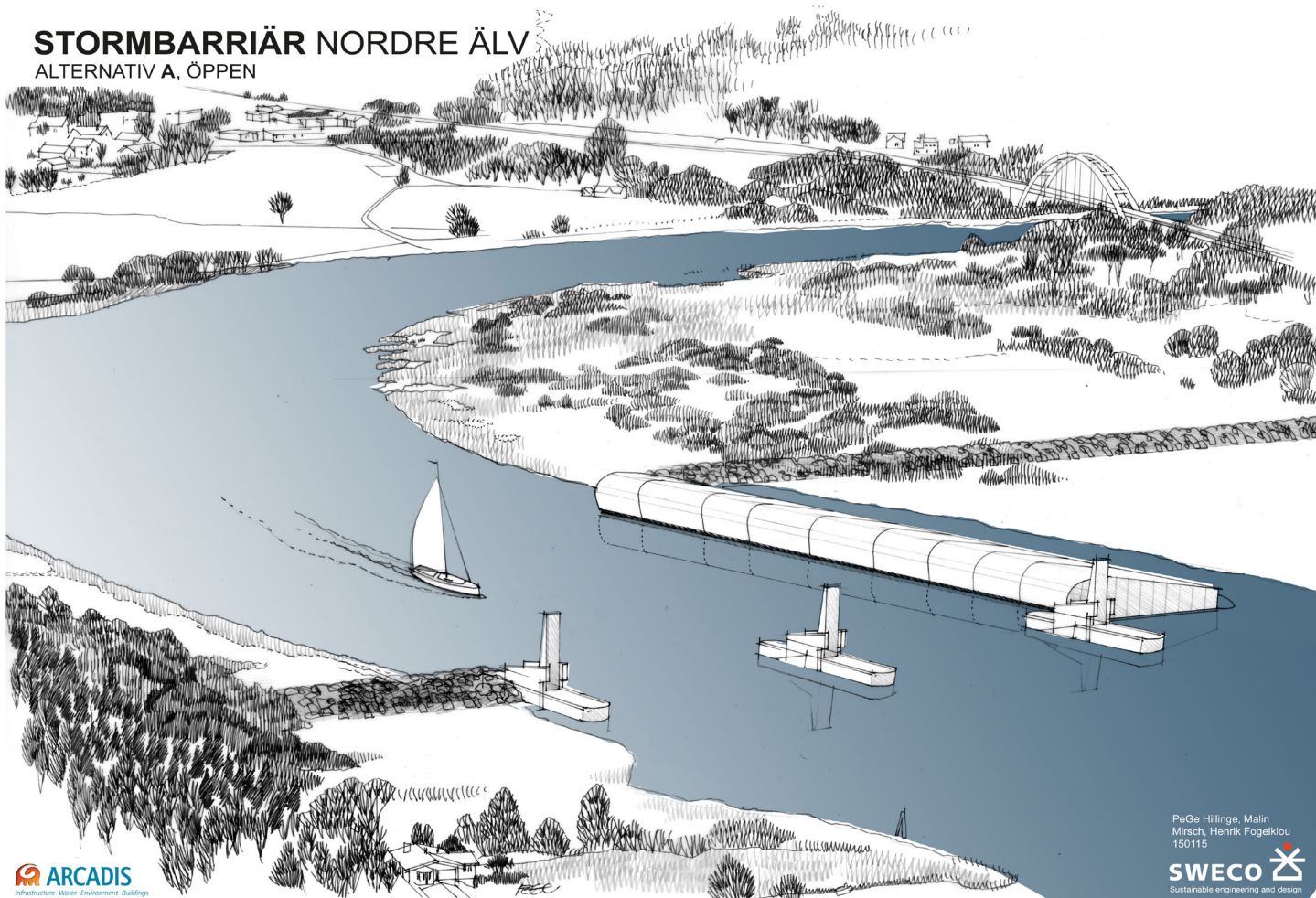
PeGe Hillinge, Malin
Mirsch, Henrik Fogelklou
150115

SWECO
Sustainable engineering and design

Figur 65. Tidig idéskiss för utformning av skyddsport (stängda portar) i Nordre älvgrenen (Sweco, 2015).

STORMBARRIÄR NORDRE ÄLV

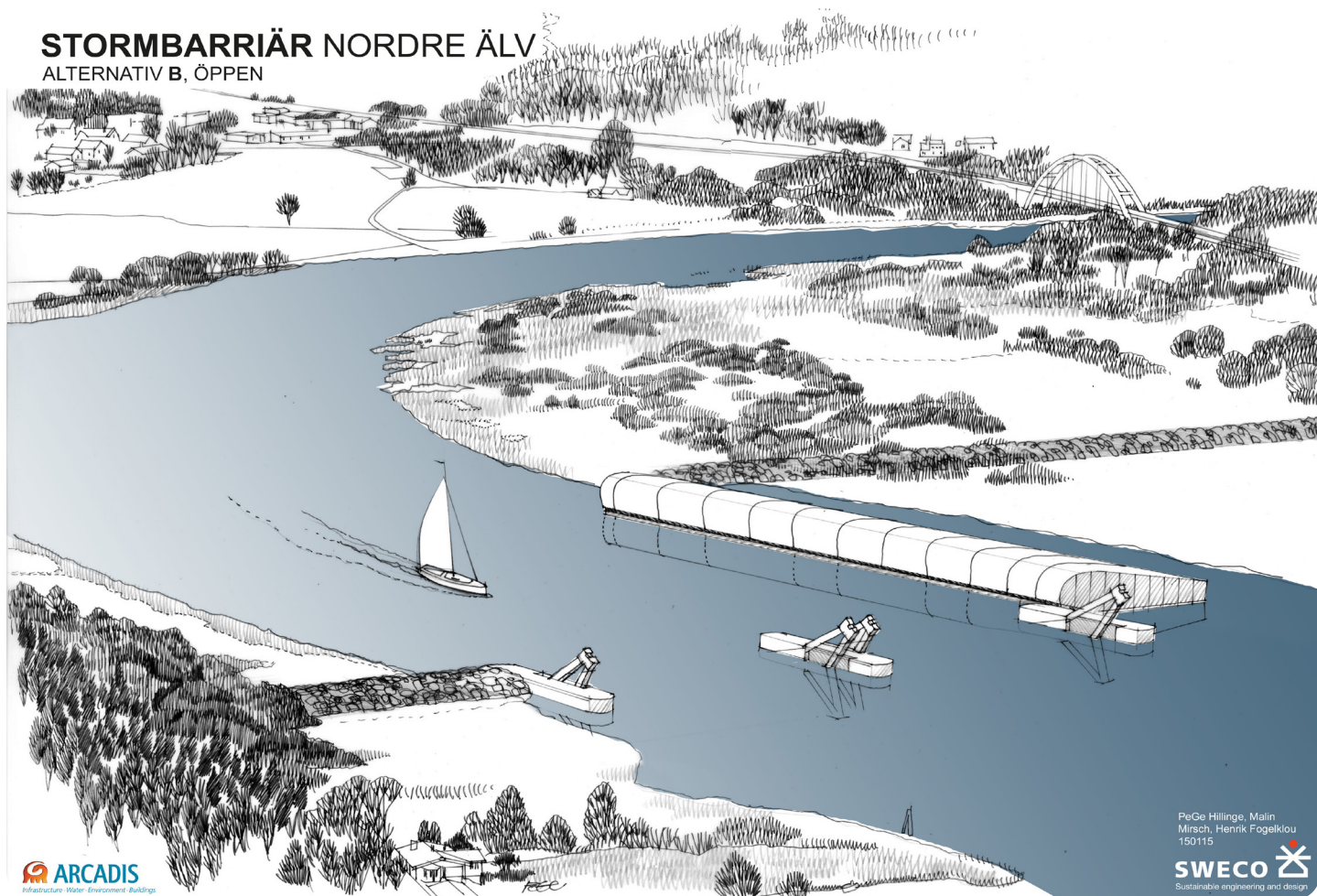
ALTERNATIV A, ÖPPEN



Figur 64. Tidig idéskiss för utformning av skyddsport (öppna portar) i Nordre älvgrenen (Sweco, 2015).

STORMBARRIÄR NORDRE ÄLV

ALTERNATIV B, ÖPPEN



Figur 66. Tidig idéskiss för utformning av skyddsport (öppna portar) i Nordre älvgrenen (Sweco, 2015).

Aspekter att beakta och osäkerhetsfaktorer

Under projektets gång har ett antal antaganden gjorts gällande belastning, skyddsportens funktion, miljöaspekter etc. De antaganden som har gjorts, och som bedöms ha stor inverkan på skyddsportssystemet, listas i nedanstående tabell.

Aspekt	Inkluderas i nuvarande utformningsförslag	Aspekt att beakta inför framtida studier
"Stående våg"	Fenomenet "stående våg" uppstår under perioder i havsområdet mellan Sverige och Danmark, och modelleras som en statisk vattennivå. Höjden för denna "stående våg" har erhållits från modelleringsexpertis.	Belastningen från en "stående våg" bör modelleras dynamiskt för att en exakt belastningsmängd ska kunna ansättas. Höjden på den "stående vågen" bör modelleras för att kunna bedöma belastningsförhållanden i detalj.
Skredrisk i längs Göta älv dalen	Skred kan orsakas av vågflöden orsakade av avrinning i Nordre älv grenen eller Göteborgsgrenen, alternativt orsakas av att skyddsportar stängs för snabbt. Skredrisken kan också öka vid låg vattenföring.	De konsekvenser som skred kan medföra för magasineringsområdet bör undersökas mer i detalj. En blockering i Nordre älv grenen eller Göteborgs-grenen kan resultera i alltför höga vattennivåer. Stängningsprocessen bör modelleras mer i detalj. En alltför snabb stängning kan medföra våg problematik. "Plötsliga" variationer i vågor kan orsaka instabilitet i älvsträndarna. Vågor orsakade av portsystem som stängs långsammare, minskar även risken för strandinstabilitet.
Utformning av skyddsport	Skyddsporten är lokaliserad i en älvbädd som består av ett lerlager med ca 100 m djup. Detta jordlager har stor påverkan på utformningen av skyddsportens fundament och pyloner.	Jordlagrets karaktär bör utredas mer i detalj.
	Pumpstationen samt kompletterande skyddsvallar belägna på den närliggande älvstranden.	Den kvantitativa påverkan på vattennivån i älven bör utredas mer i detalj i framtida studier.
Pumpstation	Pumpstationens kapacitet måste vara hög med anledning av det tänkbart höga flödet i Göta älv. Flödet ansätts enligt ett konservativt antagande.	En optimering kan göras genom att inkludera Vänerns flödesreglering. Pumpkapaciteten kan begränsas genom att minska flödet till Göta älv. Målet är att reducera pumpkapaciteten till ett absolut minimum.
	Pumparna används infrekvent och behöver testas/användas frekvent för att minska risken för funktionsfel.	Underhåll och testprocedurer bör inkluderas i utformningen. Dessa aspekter ingår dock inte i denna förstudie.
	Ett stormflöde kan uppstå under vinterperioden, då även isbildning kan uppstå i skyddsportens närområde. Drivande isflak kan påverka vattenintaget vid pumpstationerna.	En mer detaljerad utformning bör göras för vattenintaget vid pumpstationen, vilken bör inkludera risken för isbildning bakom skyddsporten.
	Pumpstationen är placerad vinkelrätt mot älven. Pumpstationens läge kan optimeras ytterligare.	Ett exempel på optimering är att anlägga pumpstationen längs med älven, vilket framgår i figur 64 sid 86. Detta alternativ bör utredas mer i detalj i framtida studier.

Port- utformning	Ett flöde sker till älven under tiden då skyddsporten är stängd. Älvens flödes hastighet kan medföra en påverkan på portens stängningsmekanismer.	Skyddsportens påverkan av en hög flödes hastighet bör undersökas vidare i en detaljerad studie.
	Skyddsporten måste kunna sättas ner i en bottenkonstruktion i älven. Storleken på tröskelkonstruktionen avgörs av skyddsportens tjocklek.	En optimering kan göras genom att begränsa skyddsportens tjocklek. En nedsänkt segmentport med en större tjocklek, i ytligare vatten, bedöms vara suboptimalt. En optimering kan däremot vara att anlägga tre mindre portar istället för två större portar.
Kvillebäcken	Kvillebäcken kopplar samman Nordre älvgrenen och Göteborgsgrenen. Till bäcken hör även en vattendelare. Under normala förhållanden flödar inget vatten från Nordre älvgrenen till Göteborgsgrenen. Vatten kan möjligen flöda från Nordre älvgrenen till Göteborgsgrenen under stormförhållanden.	Vattennivån och älvbäddsnivån vid Kvillebäckens vattendelare bör undersökas i detalj. Det bör utredas huruvida vatten flödar från Nordre älv till Göteborgsgrenen, varvid det kan uppstå behov av en mindre skyddsport i Kvillebäcken.
Mindre bäck nedströms Ormoskärmen	En mindre bäck är belägen på Hisingssidan och har ett utflöde strax nedströms den befintliga Ormoskärmen. Det är osäkert om bäcken har en sammankoppling med en ytterligare bäck på Hisingen, vilken har sitt utlopp älvupptröms Ormoskärmen. Om bäckarna är sammankopplade, kan en mindre lucka/port behöva anläggas i bäcken för att motverka att vatten trycks in bakom skyddsporten under ett stormflöde.	De hydrologiska förhållandena kring bäcken/bäckarna samt exakt vattendelare bör utredas mer i detalj. Möjligen kan behovet av en lucka/port behöva utredas.
Drift och kontroll	Reliabilitet i skyddsportens funktioner är till stor del påverkad av den mänskliga faktorn (drift och underhåll) samt tekniska fel. Temperaturer och vatten/is kan påverka portens drift. Ex. kan skyddsportar fastna under längre värmeperioder, eller drabbas av isbildning vintertid.	Den mänskliga faktorns påverkan och riskerna för tekniska fel bör utredas vidare i efterföljande studier. Effekterna av ett föränderligt klimat och det förändrade klimatets påverkan på skyddsporten bör utredas vidare i en efterföljande studie.
Konstruktion	Konstruktionen av skyddsporten sker vid älvstranden. Under konstruktionsskedet stoppas all sjöfart i kanalen.	En konstruktionsplan för skyddsporten måste upprättas, vilken tar upp aspekten om stoppad sjöfart under konstruktionsskedet.
	Säsongsvariationer kan påverka konstruktionsplaneringen.	Säkerställa att portkonstruktionen kan genomföras under perioder med goda väderförhållanden, temperaturer etc
Bottenskydd	Under normala förhållanden är flödes hastigheten begränsad. Under skyddsportens stängningsprocess samt i det fall skyddsporten inte kan stängas, kommer vattenflödet att öka markant.	Ett bottenskydd bör inkluderas i utformningen. En tumregel för bottenskyddets bredd i samband med mindre skyddsportar är ca 10 gånger djupet. För en skyddsport vid den aktuella lokaliseringen, bör en mer konservativ bredd tillämpas, förslagsvis 15 gånger djupet.

Tabell 16. Aspekter att beakta vid utformning av skyddsporten i Nordre älvgrenen.

5. Kostnadsuppskattning

I denna förstudie har ett antal alternativ för skyddsportar i Göta älv studerats. Det alternativ som utifrån urvalsprocessen bedömts vara lämpligast att anlägga i Göteborgsgreinen är nedsänkt segmentport med tre större passager. För Nordre älvgreinen bedöms alternativet nedsänkt segmentport med två större öppningar vara det bäst lämpad alternativet.

Den totala kostnaden för båda skyddsportarna (inkl. pumpstationer) uppskattas enligt kostnadsbedömningen (*Bilaga 9*) bli ca 394 – 843 miljoner EUR, dvs. ca **3,7 – 7,9 miljarder SEK**.

Bilagor

Bilaga 1

- STORM SURGE BARRIERS GÖTEBORG - REQUIREMENTS

SECO ENVIRONMENTAL AB

2014-12-17

Verification

	Company	Function	Name	Signature	Date
Author					
Authenticated by					
Approved by					

Revisions

Revisioncode	Revision number	Date	Alterations	State
00	1	2014-12-17		

Content

Requirements storm surge barriers in Göteborg	4
1 Requirements for "Barrier system Göteborg"	5
1.1 Requirements "Barrier at the Nordre älv"	11
1.2 Requirements "Barrier at the Älvsborgsbron"	13
1.3 Requirements "Bifurcation at the Jordfallsbron"	18

Requirements storm surge barriers in Göteborg

1 REQUIREMENTS FOR "BARRIER SYSTEM GÖTEBORG"

Requirements storm surge barriers Göteborg		
Requirements are subdivided in: Navigational requirements (NAV) Hydraulic requirements (HYD) Safety requirements (STY) Environmental requirements (ENV)	Upper specification	
	Underlying specification(s)	, ENV, HYD, NAV, STY
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify this requirement by verifying the underlying specifications/requirements.	
Verification result preferred option	Verify this requirement by verifying the underlying specifications/requirements.	

ENV Environmental requirements		
The design of the barriers shall take into account the RAMSAR area, raw water inlet, Natura 2000, etc.	Upper specification	
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify in a subsequent design phase.	
Verification result preferred option	The barrier located in the Nordre älv is located in the least sensitive location considering the environment.	

HYD Hydraulic requirements		
The design of the storm surge barriers shall comply with to the underlying hydraulic requirements.	Upper specification	
	Underlying specification(s)	HYD-0017, HYD-0005, HYD-0003, HYD-0012, HYD-0016, HYD-0007, HYD-0006, HYD-0004, HYD-0001, HYD-0002, HYD-0009, HYD-0018, HYD-0011, HYD-0008, HYD-0010, HYD-0014, HYD-0015
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify this requirement by verifying the underlying specifications/requirements.	
Verification result preferred option	Verify this requirement by verifying the underlying specifications/requirements.	

HYD-0001 Maximum water level for closing of the barriers		
The barriers shall be closed for water levels higher than MW +1,4m.	Upper specification	HYD
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify at which water level the barriers will be closed.	
Verification result preferred option	The closing water level included in the design is 1,4m.	

HYD-0002 Maximum water levels during a storm surge		
The storm surge barriers shall be able to withstand the maximum load implied by the storm surge.	Upper specification	HYD
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify in a subsequent design phase.	
Verification result preferred option	Expert review of barrier design.	

HYD-0003 Duration of a storm surge		
The flood protection system shall be closed for 24 hours or longer during a storm surge.	Upper specification	HYD
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify whether sufficient pumping station capacity or storage capacity is included in the design.	
Verification result preferred option	Sufficient pumping capacity and/or storage are included in the design in order to maintain the water levels in the 'basin' to limit the water level to MW +2,3m.	

HYD-0004 Maximum discharge Göta älv/Lake Vänern during a storm surge		
The system of barriers shall be able to transport the maximum discharge of the Göta älv.	Upper specification	HYD
	Underlying	

HYD-0004 Maximum discharge Göta älv/Lake Vänern during a storm surge		
The maximum discharge of the Göta älv is 1700m ³ /s. The minimum discharge according to the Vattendom is 300m ³ /s.	specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify the maximum flow speed at the barrier and the storage of water during a storm surge.	
Verification result preferred option	The maximum discharge capacity is included in the design. The maximum discharge capacity does not impose too high flow velocities at the barriers.	

HYD-0006 Lateral discharge of smaller streams (Lärjeån and Kvillebäcken)		
The maximum lateral discharge of Lärjeån and Kvillebäcken shall be stored during a storm surge. No storage capacity is available for the smaller streams.	Upper specification	HYD
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify whether sufficient pumping station capacity or storage capacity is included in the design.	
Verification result preferred option	Sufficient pumping capacity and/or storage are included in the design in order to maintain the water levels in the basin to limit the water level to MW +2,3m.	

HYD-0007 Increasing the discharge capacity of the Nordre älv		
The discharge capacity of the Nordre älv shall not be increased by broadening the width or depth of the Nordre älv.	Upper specification	HYD
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify the maximum flow speed at the barrier and the storage of water during a storm surge.	
Verification result preferred option	The cross section of the Nordre älv is not increased with respect to the present situation. So the discharge capacity is equal to the present situation.	

HYD-0010 Minimum discharge Lilla Edet		
The minimum discharge in the upstream branch of the Göta älv at the village of Lilla Edet shall be: higher than 40m ³ /s during 1 hour higher than 75m ³ /s during 6 hours higher than 125m ³ /s during week days.	Upper specification	HYD
	Underlying specification(s)	

HYD-0010 Minimum discharge Lilla Edet	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis
Acceptation criteria	Verify whether the normal discharges can be regulated after implementation of the barriers for normal situations.
Verification result preferred option	The control of discharges and water levels is equal to the present control of discharges and water levels.

HYD-0015 Water level in the basin during a storm surge.		
Have to determine the water levels in the basin, before you have to start pumping. About 2,3 m in the basin will be the critical water level according to Ulf/Niclas/SBK. According to SMHI a 2,3 m level has a return time of once in ten year for year 2100, but a once in 200 years return time for 2070. After 2070 extra pumping capacity has to be installed, but area for that should already be reserved when building the barrier.	Upper specification	HYD
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify whether sufficient pumping station capacity or storage capacity is included in the design.	
Verification result preferred option	Sufficient pumping capacity and/or storage are included in the design in order to maintain the water levels in the 'basin' to limit the water level to MW +2,3m.	

HYD-0016 Global sea level rise		
A global sea level rise of 1,5m shall be included in the design.	Upper specification	HYD
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify whether global sea level rise is included in the design.	
Verification result preferred option	Global sea level rise is included in the design, by assessing the pumping station capacity for the present situation and for 2150.	

HYD-0017 Discharge during storm surge		
The storm surge barriers shall be able to discharge the discharge of a 'Gudrun storm'	Upper specification	HYD
	Underlying specification(s)	

HYD-0017 Discharge during storm surge	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis
Acceptation criteria	Verify whether sufficient pumping station capacity or storage capacity is included in the design.
Verification result preferred option	Sufficient pumping capacity and/or storage are included in the design in order to maintain the water levels in the 'basin' to limit the water level to MW +2,3m.

HYD-0018 Minimum discharge Göta älv/Lake Vänern during a storm surge		
The system of barriers shall be able to transport the minimum discharge of the Göta älv. The minimum discharge according to the Vattendom is 300m ³ /s according to the Vattendom.	Upper specification	HYD
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify the minimum discharge and salt intrusion in the Nordre älv.	
Verification result preferred option	For low discharges, the Nordre älv barrier could retain the salt intrusion like the Ormoskärmén does nowadays	

NAV Navigation requirements		
The design of the storm surge barriers shall comply with to the underlying navigational requirements.	Upper specification	
	Underlying specification(s)	NAV-0001, NAV-0008, NAV-0011, NAV-0010, NAV-0014, NAV-0012, NAV-0013, NAV-0009, NAV-0005, NAV-0003, NAV-0007, NAV-0004, NAV-0002
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify this requirement by verifying the underlying specifications/requirements.	
Verification result preferred option	Verify this requirement by verifying the underlying specifications/requirements.	

STY Safety requirements		
The design of the storm surge barriers shall comply with to the underlying safety requirements.	Upper specification	
	Underlying specification(s)	STY-0002, STY-0001

STY Safety requirements	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis
Acceptation criteria	Verify this requirement by verifying the underlying specifications/requirements.
Verification result preferred option	Verify this requirement by verifying the underlying specifications/requirements.

STY-0002 Duration of closing operation of the barriers		
<p>Closing of the barriers shall not take place suddenly and unexpectedly.</p> <p>Mooring of a ship can be planned at least a few hours in advance, so mooring facilities do not have to be situated in the direct vicinity of the barriers. Ships approaching the Jordfall Bridge may call at berths both upstream and downstream of Kungälv/Bohus. Ships approaching the Älvsborg Bridge may be directed to berths in the inner or outer parts of Port of Gothenburg. If a Ro-Pax ferry is trapped outside the barrier it can moor in the outer port. However, it may not be possible to unload vehicles and the disembarkment of passengers may take a long time as gangways are not at hand.</p>	Upper specification	STY
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify in a subsequent design phase.	
Verification result preferred option	Verify in a subsequent design phase.	

1.1 REQUIREMENTS "BARRIER AT THE NORDRE ÄLV"

HYD-0008 Minimum discharge in the Nordre älv		
A minimum discharge in the Nordre älv of 0m ³ /s shall be maintained at any time. The Nordre älv acts as an "extra ventilator" and no requirements are set for the minimum discharge.	Upper specification	HYD
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify whether the discharge capacity of the Nordre älv is increased with respect to the present situation.	
Verification result preferred option	The discharge can be controlled by the Nordre älv barrier. For normal conditions, this barrier functions like the present Ormoskärmén. A discharge of zero m ³ /s is therefore not present in the Nordre älv.	

HYD-0012 Flooding of Göteborg via the Nordre älv		
Flooding of Göteborg due to a storm surge in which the surge propagates through the Nordre älv towards Göteborg shall be prevented.	Upper specification	HYD
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify whether a barrier in the Nordre älv or at the bifurcation is present in order to retain a storm surge.	
Verification result preferred option	A barrier in the Nordre älv is able to retain a storm surge in the Nordre älv.	

HYD-0014 Water flowing from the Nordre älv into the Göta älv through the Kvillebäcken		
Water shall not flow from the Nordre älv into the Göta älv through Kvillebäcken during a storm surge.	Upper specification	HYD
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify whether a barrier is included in the system which is able to retain the storm surge in the Kvillebäcken	
Verification result preferred option	A barrier is not designed, but mentioned in the 'points of attention for a subsequent design phase.	

NAV-0009 Shipping and dimensions of Nordre älv		
Pleasure crafts and sightseeing boats with a width of 32,5m and a depth of 1,5m shall be able to sail at the Nordre älv.	Upper specification	NAV
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Analyse the possibility of recreational vessels to pass the barrier in the Nordre älv.	
Verification result preferred option	Gates can be lowered when a recreational vessel has to pass the barrier. Smaller vessels are able to pass the barrier through the opening next to the barriers.	

NAV-0012 Overhead clearance barriers Nordre älv		
An overhead clearance of 12.5m shall be present at the barrier. This overhead clearance is also available at the railway bridge running over the Nordre älv.	Upper specification	NAV
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify whether sufficient overhead clearance is included in the design.	
Verification result preferred option	The Nordre älv barrier has unlimited overhead clearance	

STY-0001 Safety for the village of Kungälv		
The safety for the village of Kungälv shall not be lower with respect to the present situation. When the risks for Kungälv are increasing due to the barriers, mitigation measures have to be implemented.	Upper specification	STY
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify the effect of the barriers on the water levels at Kungälv.	
Verification result preferred option	The village of Kungälv is protected by the Nordre älv barrier. So the safety against flooding has increased.	

1.2 REQUIREMENTS "BARRIER AT THE ÄLVSBORGSBRON"

HYD-0005 Discharge Sävån		
The discharge during a storm surge of the Sävån has to be stored in the basin or kept in the upstream lake, or has to be pumped out at the barrier	Upper specification	HYD
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify whether sufficient pumping station capacity or storage capacity is included in the design.	
Verification result preferred option	Sufficient pumping capacity and/or storage are included in the design in order to maintain the water levels in the 'basin' to limit the water level to MW +2,3m.	

HYD-0009 Minimum discharge Göta älv city branch for normal situations		
The discharge in the Göteborg branch for normal situations shall be: lower than 160m ³ /s when the Ormo shield is raised higher than 40m ³ /s during 1 hour higher than 75m ³ /s during 6 hours higher than 125m ³ /s during week days.	Upper specification	HYD
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify whether the normal discharges can be regulated after implementation of the barriers for normal situations.	
Verification result preferred option	The control of discharges and water levels is equal to the present control of discharges and water levels.	

HYD-0011 Minimum discharge Göteborg Branch during a storm surge		
The discharge of the Göteborg branch shall be zero during a storm surge.	Upper specification	HYD
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify whether the discharge is 0 during a storm surge.	
Verification result preferred option	The discharge is higher than zero during a storm surge, however the water level is controlled by a pumping station.	

NAV-0001 Ro-Pax ferries mooring in Göteborg		
Two Ro-Pax ferries shall be able to moor at the Majnabbe terminal (approx 0,4 nm upstream the bridge). The ships are 240 m long, 30m wide and have a draft of 6 meters.	Upper specification	NAV
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify the depth of the sill of the barrier. The sill shall be located deep enough for the passage of navigation.	
Verification result preferred option	Sill level for the Göta älv barrier is located at the present bed level. Sufficient depth is available for the passage of vessels according to the PIANC guidelines.	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify the width of the openings to the required width needed for the passage of navigation.	
Verification result preferred option	Sufficient width is available for the passage of the barriers by the mentioned ships, sailing for low speeds.	

NAV-0002 Turing of the Ro-Pax ferries		
The ships shall be able to turn using the current in the Göta älv and by the bow thrusters.	Upper specification	NAV
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify if sufficient area is available at the eastern side of the Älvsborgsbron.	
Verification result preferred option	The barrier is located at the western side of the barrier. The turning circle is not impacted by the design.	

NAV-0003 Ships passing under the Älvsborgsbron		
Ships which shall be able to pass the Älvsborgsbron are: Stena Germanica and Stena Scandinavica (L=240m B=30m D=6m) Stena Danica (L=155m W=28,5m, D=6,7m) Stena Jutlandica (L=185m, W=28,5m, D=6m) Stena Scanrail (L=142,5m, W=19m) Surtemax vessels (L125m, W=16,5m, D=5,4m) Crouse ships sailing to Frihamnen (downstream of the Götaälvbron (L=193m, W=32m)	Upper specification	NAV
	Underlying specification(s)	
Method of verification	analysis	

NAV-0003 Ships passing under the Älvsborgsbron	
(pre-feasibility)	
Acceptation criteria	Verify the depth of the sill of the barrier. The sill shall be located deep enough for the passage of navigation.
Verification result preferred option	Sill level for the Göta älv barrier is located at the present bed level. Sufficient depth is available for the passage of vessels according to the PIANC guidelines.
Method of verification (pre-feasibility)	analysis
Acceptation criteria	Verify the width of the openings to the required width needed for the passage of navigation.
Verification result preferred option	Sufficient width is available for the passage of the barriers by the mentioned ships, sailing for low speeds.

NAV-0004 Surtemax vessels		
Surtemax vessels shall be able to sail from the mouth of the Göta älv (Göteborg branch) up to the Jordfall bridge in order to turn at the bifurcation.	Upper specification	NAV
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify the width of the openings to the required width needed for the passage of navigation.	
Verification result preferred option	Sufficient width is available at the Göta älv barrier according PIANC	

NAV-0007 Speed limit fairway at Älvsborgsbron		
The speed limit for a 2-way fairway is 8kn at Älvsborgsbron	Upper specification	NAV
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify the sailing speed and availability of a two lane waterway	
Verification result preferred option	Does not comply. A design is chosen by the client which has only 1 direction navigational openings. And only 8 knots for inland	

NAV-0008 Bridge dimensions Göta älv		
Design of barriers shall be designed using the present dimensions of bridges.	Upper specification	NAV
	Underlying	

NAV-0008 Bridge dimensions Göta älv		
		specification(s)
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify the depth of the sill of the barrier. The sill shall be located deep enough for the passage of navigation.	
Verification result preferred option	Sill level for the Göta älv barrier is located at the present bed level.	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify the width of the openings to the required width needed for the passage of navigation.	
Verification result preferred option	The width of the opening of the Göta älv barrier is smaller than the opening of the Älvsborgsbron. This is a design choice made by the client.	

NAV-0011 Gothenburg Shipyard - required water level		
A required water level of 9 meters shall be available in the shipyard area.	Upper specification	NAV
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify the depth of the sill of the barrier. The sill shall be located deep enough for the passage of navigation.	
Verification result preferred option	Sill level for the Göta älv barrier is located at the present bed level. Sufficient depth is available for the passage of vessels for the shipyard.	

NAV-0013 Overhead clearance Göta älv		
Unlimited overhead clearance shall be present at the Göta älv barriers.	Upper specification	NAV
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify whether sufficient overhead clearance is included in the design.	
Verification result preferred option	The barrier at the Nordre älv has unlimited overhead clearance	

NAV-0014 Open barrier at Älvsborgsbron

NAV-0014 Open barrier at Älvsborgsbron		
Navigation shall be able to pass the barrier at the Älvsborgsbron without hindrance for normal conditions, because the Göta älv is a fairway of national interest.	Upper specification	NAV
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify the depth of the sill of the barrier. The sill shall be located deep enough for the passage of navigation.	
Verification result preferred option	Sill level for the Göta älv barrier is located at the present bed level. Sufficient depth is available for the passage of vessels according to the PIANC guidelines.	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify the width of the openings to the required width needed for the passage of navigation.	
Verification result preferred option	Sufficient width is available for the passage of the barriers by the mentioned ships, sailing for low speeds.	

1.3 REQUIREMENTS "BIFURCATION AT THE JORDFALLSBRON"

NAV-0004 Surtemax vessels		
Surtemax vessels shall be able to sail from the mouth of the Göta älv (Göteborg branch) up to the Jordfall bridge in order to turn at the bifurcation.	Upper specification	NAV
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify design of a barrier at the bifurcation.	
Verification result preferred option	A barrier at the bifurcation is not included in the design. This requirement is not of any interest for the final design.	

NAV-0005 Ships navigating at the bifurcation		
A Surtemax vessel shall be able to turn at the bifurcation (L=125m, W=16,5m, D=5,4m) A Vänermax vessel shall be able to sail up to Lake Vänern (L=89m, W=13,2m, D=5,4m)	Upper specification	NAV
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify design of a barrier at the bifurcation.	
Verification result preferred option	A barrier at the bifurcation is not included in the design. This requirement is not of any interest for the final design.	

NAV-0010 Navigation sailing at the Jordfallsbron - low water levels		
"Surtemax" vessels shall be able to pass the Jordfallsbron for normal conditions and for low water levels The width of the fairway under the Jordfall bridge is 40 m, this width should be maintained. Water depth under the bridge is 7.35m, however the dredged depth in the fairway downstream is only 6 m. There is no point in increasing the dredged depth in the fairway downstream, as there is a permanent threshold by means of the level on top of the submerged Tingstad tunnel crossing Göta River.	Upper specification	NAV
	Underlying specification(s)	
Method of verification (pre-feasibility)	analysis	
Acceptation criteria	Verify design of a barrier at the bifurcation.	

NAV-0010 Navigation sailing at the Jordfallsbron - low water levels	
Verification result preferred option	A barrier at the bifurcation is not included in the design. This requirement is not of any interest for the final design.

Bilaga 2

Trade off Matrix for Storm Surge Masterplanning for the design of large barriers in Göteborg											
Discharge lake Vänern		Full discharge Vänern			Partial discharge Vänern				Zero discharge Vänern		
Variantnumber	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1.1	3.1.2	3.1.3	
Discharge Nordre älv	Full	Partial	Zero	Partial	Partial	Zero	Partial	Zero	Zero	Zero	Zero
Discharge Göta älv	Zero	Partial	Full	Partial	Partial	Partial	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero
Specials				Storage in Göta älv basin	Pumping or sluicing water out of the Göta älv basin			2 Barriers in the Göta älv	1 Barrier Göta älv 1 Barrier in Nordre älv	1 Barrier in Göta älv	
Block 1 Requirements		Fulfilled / Not fulfilled / Fulfilled when...									
Req 0001	Ro-Pax ferries mooring in Göteborg	No distinction for Storm Surge Masterplanning.									
Req 0002	Turning of the Ro-Pax ferries	No distinction for Storm Surge Masterplanning.									
Req 0003	Ships passing under the Älvsborgsbron	No distinction for Storm Surge Masterplanning.									
Req 0005	Surtemax vessels	No distinction for Storm Surge Masterplanning.									
Req 0006	Ship navigation at the bifurcation	No distinction for Storm Surge Masterplanning.									
Req 0007	Speed limit fairway at Älvsborgsbron	No distinction for Storm Surge Masterplanning.									
Req 0008	Bridge dimensions Göta älv	No distinction for Storm Surge Masterplanning.									
Req 0009	Shipping and dimensions of Nordre älv	No distinction for Storm Surge Masterplanning.									
Req 0010	Duration of closing operation of barriers	No distinction for Storm Surge Masterplanning.									
Req 0011	The barriers shall be closed for water levels higher than MW +1,3m up to MW +1,4m.	Fulfilled when the storage capacity in the basin is sufficient during the storm surge.									
Req 0012	Maximum water level during a storm surge at sea and at the bifurcation (outside the protected city area).	Not a requirement but a boundary conditions for the storage of water during a storm surge.									
Req 0013	Duration of storm surge	Not a requirement but a boundary conditions for the storage of water during a storm surge.									
Req 0014	Storage area between barriers	Not a requirement but a boundary conditions for the storage of water during a storm surge.									
Req 0015	Maximum discharge Göta älv/lake Vänern during a storm surge	Maximum discharge of Lake Vänern during a storm surge has to be determined in cooperation with Vattenfall.									
Req 0016	The discharge during a storm surge of the Sävveån has to be stored in the basin or kept in the upstream lake, or has to be pumped out at the barrier	Fulfilled when the discharge of Sävveån can be limited by storage in upstream lakes or pumped out at the barrier.									
Req 0017	The maximum lateral discharge of Lärjeån and Kvillebäcken shall be stored during a storm surge. No storage capacity is available for the smaller streams.	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled
Req 0018	Barriers and environment	Requirements considering the environment have to be specified in more detail. Fulfilled when the barriers are complying to the requirements considering environment.									

Req 0019	The discharge capacity of the Nordre älv shall not be increased by broadening the width of the Nordre älv if this is necessary to prevent Göteborg from flooding	Not fulfilled. The discharge capacity of the Nordre älv is not sufficient for the full discharge of the Göta älv.	Fulfilled when the partial discharge capacity of lake Vänern is equal to the discharge capacity of the Nordre älv.	Fulfilled	Fulfilled when the partial discharge capacity of lake Vänern is equal to the combined discharge capacity of the Göta älv and Nordre älv.	Fulfilled when the partial discharge capacity of lake Vänern is equal to the combined discharge capacity of the Göta älv and Nordre älv.	Fulfilled	Fulfilled when the partial discharge capacity of lake Vänern is equal to the discharge capacity of the Nordre älv.	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled
Req 0020	A minimum discharge in the Nordre älv of 0m ³ /s shall be maintained at any time. The Nordre älv acts as a "extra ventilator" and no requirements are set for the minimum discharge.	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled
Req 0021	Minimum discharge Göteborg branch for normal situations	No distinction for Storm Surge Masterplanning.									
Req 0022	The safety for the village of Kungälv shall not be lower with respect to the present situation.	Not fulfilled. The same wet profile is present, but the discharge is larger. Water levels will rise when the Göta älv is closed by a barrier.	Fulfilled when the discharge in the Nordre älv is lower or equal than the present maximum discharge capacity of the Nordre älv for every water level at sea during a storm surge.	Fulfilled	Fulfilled when the discharge in the Nordre älv is lower or equal than the present maximum discharge capacity of the Nordre älv for every water level at sea during a storm surge.	Fulfilled when the discharge in the Nordre älv is lower or equal than the present maximum discharge capacity of the Nordre älv for every water level at sea during a storm surge.	Fulfilled	Fulfilled when the discharge in the Nordre älv is lower or equal than the present maximum discharge capacity of the Nordre älv for every water level at sea during a storm surge.	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled
Req 0023	The minimum discharge in the upstream branch of the Göta älv at the village of Lilla Edet shall be: higher than 40m ³ /s during 1 hour higher than 75m ³ /s during 6 hours higher than 125m ³ /s during week days.	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Requires a modification of requirement. Otherwise not fulfilled.	Fulfilled	Requires a modification of requirement. Otherwise not fulfilled.	Requires a modification of requirement. Otherwise not fulfilled.	Requires a modification of requirement. Otherwise not fulfilled.
Req 0024	The discharge of the Göteborg branch shall be zero during a storm surge.	Fulfilled	Not fulfilled	Not fulfilled	Not fulfilled	Not fulfilled	Not fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled
Req 0025	Flooding of Göteborg due to a storm surge in which the surge propagates through the Nordre älv via the Göta älv shall be prevented.	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Not fulfilled
Req 0026	The barrier at the Älvsborgsbron shall be an 'open solution' for normal conditions because Göta älv is a fairway of national interest.	No distinction for Storm Surge Masterplanning.									

Req 0027	Water shall not flow from the Nordre älv into the Göta älv through Kvillebäcken during a storm surge.	Fulfilled when the design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebäcken.	Fulfilled when the design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebäcken.	Fulfilled when the design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebäcken.	Fulfilled when the design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebäcken.	Fulfilled when the design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebäcken.	Fulfilled when the design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebäcken.	Fulfilled when the design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebäcken.	Fulfilled when the design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebäcken.	Fulfilled when the design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebäcken.	Fulfilled when the design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebäcken.	Fulfilled when the design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebäcken.
Req 0028	The water level in the Göta älv shall not rise above MW + @@m during a storm surge.	Fulfilled when the discharge of Sävveån can be limited by storage in upstream lakes or pumped out at the barrier.	Not fulfilled, the discharge of the Göta älv can not be stored behind the barrier.	Not fulfilled, the discharge of the Göta älv can not be stored behind the barrier.	Not fulfilled, the discharge of the Göta älv can not be stored behind the barrier.	Not fulfilled, the discharge of the Göta älv can not be stored behind the barrier.	Not fulfilled, the discharge of the Göta älv can not be stored behind the barrier.	Fulfilled when the discharge of Sävveån can be limited by storage in upstream lakes or, stored in the basin or pumped out at the barrier.	Fulfilled when the discharge of Sävveån can be limited by storage in upstream lakes or, stored in the basin or pumped out at the barrier.	Fulfilled when the discharge of Sävveån can be limited by storage in upstream lakes or, stored in the basin or pumped out at the barrier.	Fulfilled when the discharge of Sävveån can be limited by storage in upstream lakes or, stored in the basin or pumped out at the barrier.	Fulfilled when the discharge of Sävveån can be limited by storage in upstream lakes or, stored in the basin or pumped out at the barrier.
Conclusion of Block 1		Not fulfilled.	Not fulfilled	Not fulfilled	Not fulfilled	Not fulfilled	Not fulfilled	Fulfilled when: 1) The discharge of the Sävveån is limited or stored in a basin with sufficient capacity or pumped out at the barrier. 2) The partial discharge capacity of lake Vänern is equal or lower with respect to the discharge capacity of the Nordre River for every water level at sea. 3) The design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebäcken.	Fulfilled when: 1) The discharge of the Sävveån is limited or stored in a basin with sufficient capacity or pumped out at the barrier. 2) The discharge requirement at Lilla Edet is set to zero during a storm surge. This requires a modification of the requirement. 3) The design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebäcken.	Fulfilled when: 1) The discharge of the Sävveån is limited or stored in a basin with sufficient capacity or pumped out at the barrier. 2) The discharge requirement at Lilla Edet is set to zero during a storm surge. 3) The barrier in the Nordre älv is located at the downstream side of the Kvillebäcken or when the design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebäcken.	Not fulfilled	
Block 2 Criteria		Only required when the conclusion of block 1 is 'Fulfilled' or 'Fulfilled when...' -2 = very bad; -1 = bad; 0 = average; +1 = good; +2 = very good										
Crit 0001	Hindrance for navigation	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	0	+	+	Does not fulfill the requirements	

Crit 0002	Area which is safe for flooding							0	0	++	
Crit 0003	Water quantity							0	-	-	
Crit 0004	Complexity of system							0	-	-	
Crit 0005	Natura 2000 etc.							-	--	--	
Crit 0006	Morphodynamics							-	--	--	
Crit 0007	Robustness of design							+	+	-	
Crit 0008	Landscape and architecture							No distinction for Storm Surge Masterplanning.			
Conclusion of Block 2		Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	0	-	-	Does not fulfill the requirements
Block 3 Costs											
-2 = Very expensive; -1 = expensive; 0 = average; +1 = cheap; +2 = very cheap											
Qualitative costs for design	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	0	0	-	Does not fulfill the requirements
Qualitative costs for construction								No distinction for downstream barrier Upstream barrier 150m wide	No distinction for downstream barrier Upstream barrier 150m wide	No distinction for downstream barrier Barrier width in Nordre älv between 200 and 250m wide. Secondary barrier is more expensive with respect to the secondary barrier in the Göta älv.	
Qualitative costs for maintenance											
Block 4 Final conclusion/ranking											
Requirements	Not fulfilled.	Not fulfilled	Not fulfilled	Not fulfilled	Not fulfilled	Not fulfilled	Not fulfilled	Fulfilled when: 1) The discharge of the Sävån is limited or stored in a basin with sufficient capacity or pumped out at the barrier. 2) The partial discharge capacity of lake Vänern is equal or lower with respect to the discharge capacity of the Nordre River for every water level at sea. 3) The design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebacken.	Fulfilled when: 1) The discharge of the Sävån is limited or stored in a basin with sufficient capacity or pumped out at the barrier. 2) The discharge requirement at Lilla Edet is set to zero during a storm surge. This requires a modification of the requirement. 3) The design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebacken.	Fulfilled when: 1) The discharge of the Sävån is limited or stored in a basin with sufficient capacity or pumped out at the barrier. 2) The discharge requirement at Lilla Edet is set to zero during a storm surge. 3) The barrier in the Nordre älv is located at the downstream side of the Kvillebacken or when the design water level in the Nordre älv is lower than the maximum bed level of the Kvillebacken or when a small barrier is applied in the Kvillebacken.	Not fulfilled
Criteria	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	0	-	-	Does not fulfill the requirements
Qualitative costs for design	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	Does not fulfill the requirements	0	0	-	Does not fulfill the requirements
Qualitative costs for construction											
Qualitative costs for maintenance											

Conclusion/ranking	Not fulfilled.	Not fulfilled	Not fulfilled	Not fulfilled	Not fulfilled	Not fulfilled	Best option when the discharge of lake Vänern can be limited to the maximum discharge capacity of Nordre älv.	Best option when the discharge of lake Vänern can be set at zero.	Second best option when the discharge of lake Vänern can be set at zero	Not fulfilled
--------------------	----------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---	---	---	---------------

Bilaga 3

Water depth at the sill

The water depth is determined for:

- large vessels sailing with 8 knots for a channel of 10 meters deep
 - An underkeel clearance of 0,5m to 1,0 metres is necessary according to PIANC channel design (Figure 1)
- navigational locks for inland navigation
 - An underkeel clearance of 0,7m is necessary according to "Handboek Schutsluizen" (Figure 2)
- navigational locks for seagoing navigation like Stena vessels and cruise ships
 - A maximum underkeel clearance of 0,9m is necessary according to "Handboek Schutsluizen" (Table Fe!

Ingen text med angivet format i dokumentet.-1).

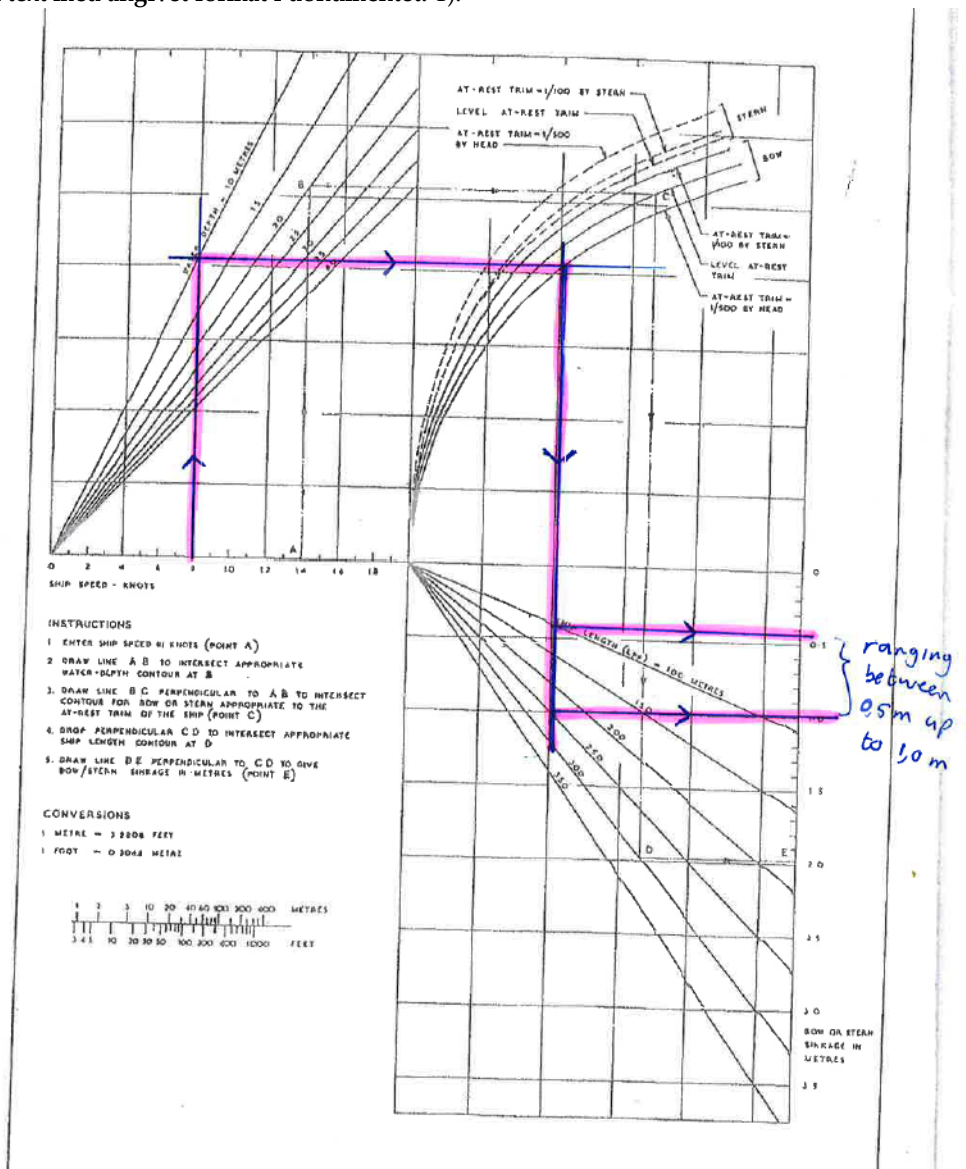


Figure 1 Bow and/or stern sinkage in metres {PIANC channel design}

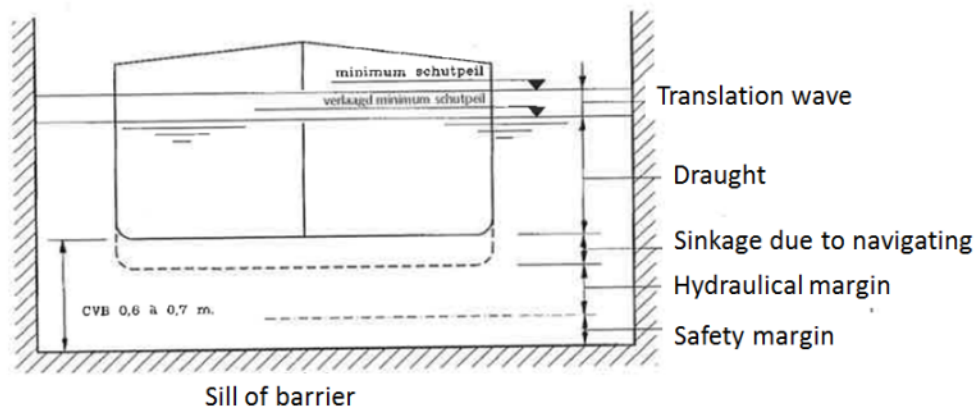


Figure 2 Underkeel clearance for inland navigation for inland locks “Handboek Schutsluizen”

Vessel	Draught [m]	Underkeel clearance [m]
Stena Germanica	6	0,6
Stena Scandinavica	6	0,6
Stena Danica	6,7	0,67
Stena Jutlandica	6	0,6
Surtemax	5,4	0,54
Shipyard vessels	9	0,9

Table Fel! Ingen text med angivet format i dokumentet.-1 Underkeel clearance for sea-locks (10% of draught) “Handboek Schutsluizen”

Bilaga 4

Required dimensions of the waterway

The dimensions for the navigational opening are determined for a two-way fairway and one way fairway for full speed and for low speeds. The vessels for which the dimensions have been determined are:

- Surtemax
- Vänermax
- Stena (various vessels)
- Cruise ships.

The dimensions have been determined using Dutch guidelines (“Richtlijn vaarwegen” and “handbook Schutsluizen”) and PIANC channel design.

	2 way navigation	1 way navigation
<u>Width for Surtemax vessels sailing with 8 knots using “Richtlijn vaarwegen”</u>	Width at the water level Surtemax Wt = 66 m Additional width for cross winds. Surtemax $\Delta w = 18$ m <u>Required width : 84 m</u>	Width at the water level Surtemax Wt = 33 m Additional width for cross winds. Surtemax $\Delta w = 18$ m <u>Required width : 51 m</u>
<u>Width for Vänermax sailing with 8 knots vessels using “Richtlijn vaarwegen”</u>	Width at the water level Vänermax Wt = 52,8 m Additional width for cross winds. Vänermax $\Delta w = 11$ m <u>Required width: 63,8 m</u>	Width at the water level Vänermax Wt = 26,4 m Additional width for cross winds. Vänermax $\Delta w = 11$ m <u>Required width: 37,4 m</u>
<u>Required width for Stena vessels and cruise ships for low speeds using “Handboek schutsluizen”</u>	Not valid	1,1 à 1,15 x Beam of ship for low wind speeds, low currents and good visibility Width of cruise ship = 32 m <u>Required width: 36,8 m</u>
<u>Required width for Stena vessels and cruise ships sailing with 8 knots using PIANC</u>	211 meters determined using the calculations presented on the next page	131 meter determined using the calculations presented on the next page

Calculation of the width of the waterway using PIANC Channel design guidelines

ORIGIN := 1

$n_{\max} := 9$

$B := (16.5 \ 13.2 \ 30 \ 28 \ 28.5 \ 19 \ 30 \ 32)\text{m}$

$W_{\text{bm}} := 1.3B$	Good ship manoeuvrability
$W_1 := 0.8B$	Sailing speed 8 knots
$W_2 := 1B$	Crosswind Beaufort 7 to 9
$W_3 := 0.8B$	Cross currents
$W_4 := 0.8B$	Longitudinal currents
$W_5 := 0.5B$	Wave height estimated to be 3 meters
$W_6 := 0.8B$	Aids to navigation. Excellent with shore traffic control
$W_7 := 0.1B$	Bottom surface for smooth and soft surface
$W_8 := 0.2B$	Depth of waterway less than 1.25 draught ship
$W_9 := 0B$	Cargo hazard level low
$W_p := 1.2B$	Distance between two ships for a two lane waterway
$W_{\text{Br}} := 0.5B$	Distance between ship and abutment
$W_{\text{Bg}} := 0.5B$	Distance between ship and abutment

Width of a one lane traffic waterway

$$W_{\text{onelane}} := W_{\text{bm}} + W_{\text{Br}} + W_{\text{Bg}} + \sum_{i=1}^{n_{\max}} W_i$$

$W_{\text{onelane}} = (67.65 \ 54.12 \ 123 \ 114.8 \ 116.85 \ 77.9 \ 123 \ 131.2)\text{m}$

$\max(W_{\text{onelane}}) = 131.2\text{m}$

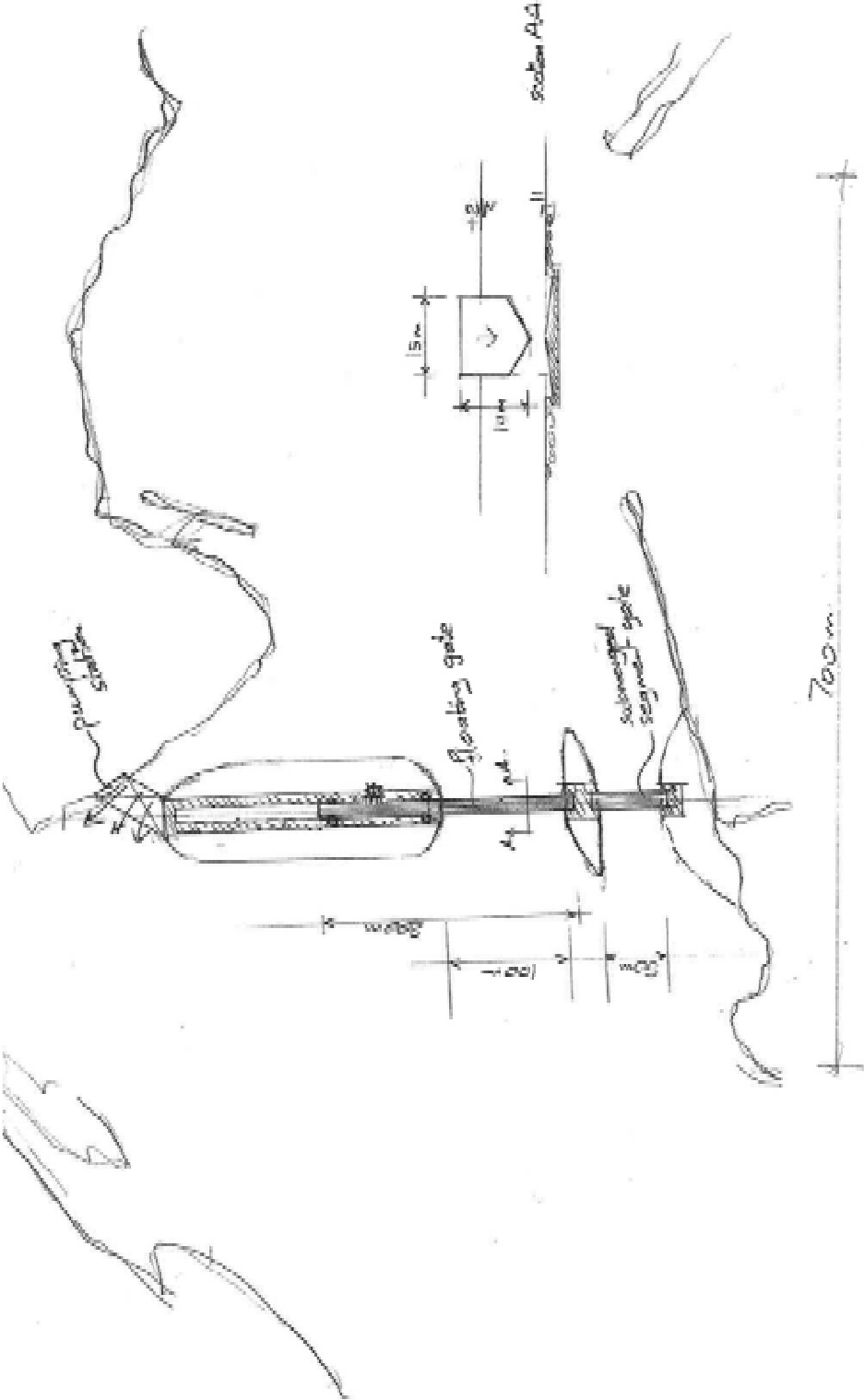
Width of a two lane traffic waterway

$$W_{\text{twolane}} := 2 \cdot W_{\text{bm}} + \sum_{i=1}^{n_{\max}} W_i + W_{\text{Br}} + W_{\text{Bg}} + W_p$$

$W_{\text{twolane}} = (108.9 \ 87.12 \ 198 \ 184.8 \ 188.1 \ 125.4 \ 198 \ 211.2)\text{m}$

$\max(W_{\text{twolane}}) = 211.2\text{m}$

Compromise solution



Bilaga 6

Discharge numbers during storm Gudrun

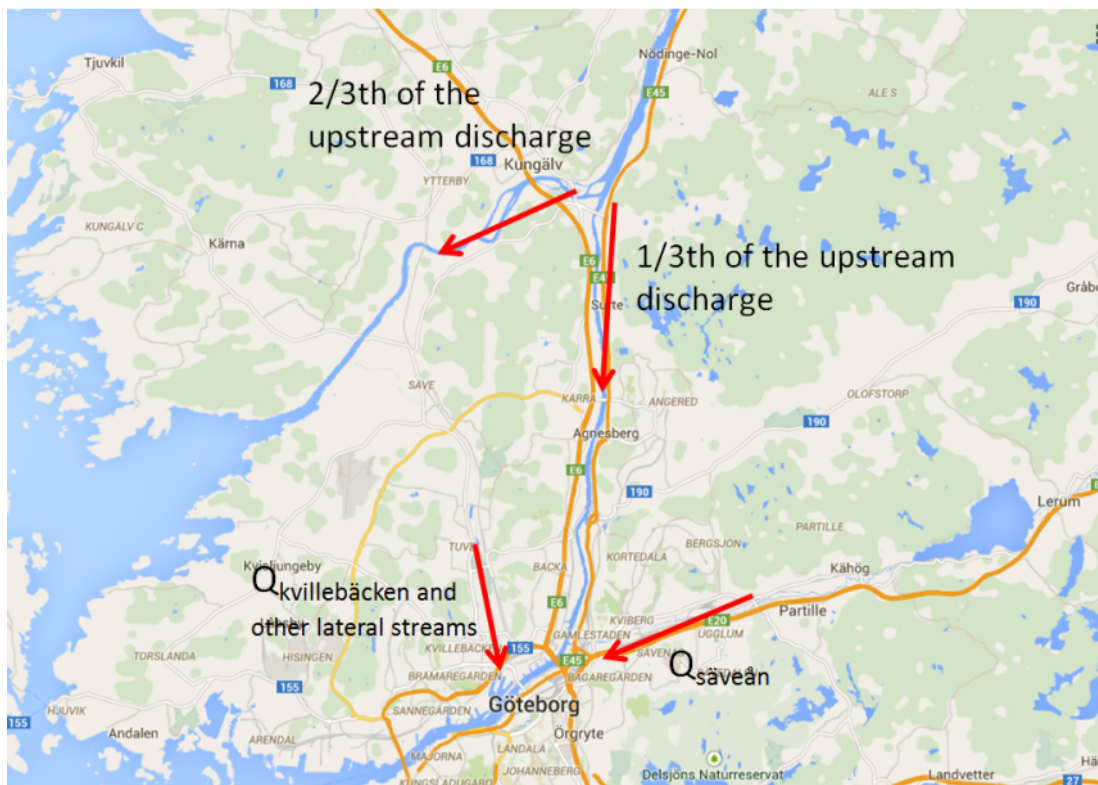
For the determination of the capacity of the pumping stations during a storm surge, the discharges of storm Gudrun are used as a reference. The discharges at the mouth of the Göta älv are presented in the column "Mynningen Göteborgsgreinen" and the discharges at the mouth of the Nordre älv are presented in "Mynningen Nordre älv". For the table below it can be concluded that the discharge capacity of the pumping station at the Göta älv shall be 325 m³/s and for the Nordre älv 500 m³/s. These capacities are just a first indication.

	Vargön (Vänern)	Lilla Edet	Mynningen Nordre älv	Mynningen Göteborgsgreinen	summa havet	Lärjeån	Säveån	MöIndalsån	Grönån	Gårdaån	Slumpån (biflöde uppströms Lilla Edet)
2005-01-01	704	653	498	278	776	3	37	9	6	2	13
2005-01-02	704	689	482	279	761	4	38	9	7	2	12
2005-01-03	703	703	484	279	763	4	38	9	6	2	12
2005-01-04	703	714	496	285	781	6	41	12	7	2	11
2005-01-05	703	658	491	287	778	5	40	12	7	2	10
2005-01-06	702	679	479	286	765	5	41	11	6	1	9
2005-01-07	703	700	481	289	770	6	43	12	7	2	10
2005-01-08	707	594	468	298	766	8	47	14	12	3	19
2005-01-09	711	532	430	309	739	10	53	17	17	5	29
2005-01-10	714	670	429	319	748	12	58	19	19	5	30
2005-01-11	716	734	475	320	795	10	59	19	16	5	28
2005-01-12	718	744	526	322	848	10	61	20	15	4	24
2005-01-13	719	552	497	318	815	7	60	18	12	3	20
2005-01-14	720	661	458	311	769	6	58	16	9	2	16

Storage capacity and pumping capacity

Gudrun storm reference

During a storm surge, water flows into the basin from Lake Vänern, Sävån, Kvillebäcken and other lateral streams. When a barrier at the Nordre älv and the Älvsborgsbron are closed, water has to be stored behind the barriers or has to be pumped out. In order to have a first insight in the pumping capacities, a **very rough assessment** is made.



For the present situation, the barriers will close at MW +1,4m. By implementing small flood walls, a maximum water level of MW +2,3m can be maintained behind the barrier. Using GIS, the storage capacity behind the barrier is determined. In total a volume of 28 million cubic meters can be stored when the barriers are closed at MW + 1,4m.

In order to determine the average pumping capacity for the pumping station at the Nordre älv and Älvsborgsbron a volume balance is made. A total discharge of 800m³/s is used as inflow in the basin which represents the runoff of lake Vänern and other smaller lateral streams during the storm Gudrun. The discharge which can be stored is determined by dividing the storage capacity by the duration of the storm surge. The discharge which has to be pumped out at the pumping stations is determined by subtracting the average storage capacity in m³/s from the total discharge. The results are presented in Figure 1.

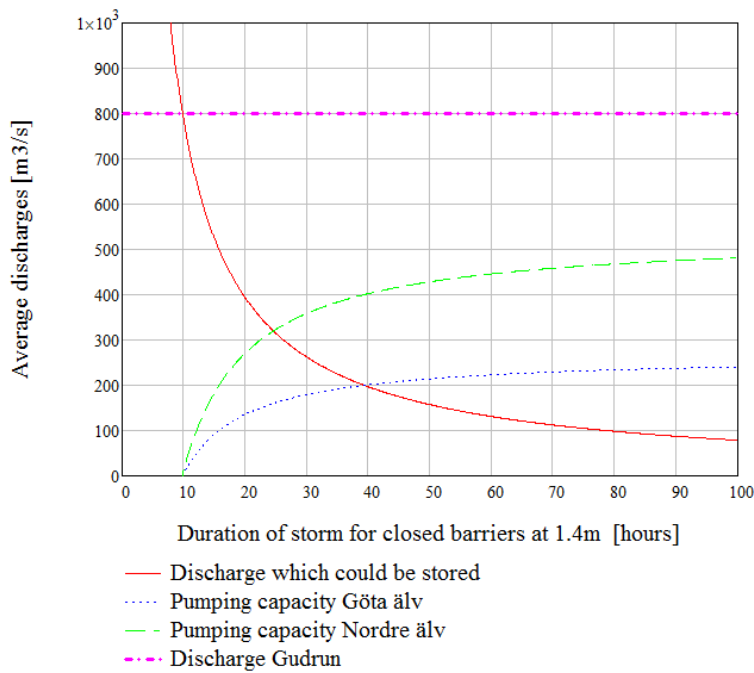


Figure 1 Pumping capacity at Göta älv, Nordre älv and storage capacity

The duration of the Gudrun storm was about 27 hours. The capacities during this storm are presented in Table 0-1.

Aspect	Discharge
Total discharge	800 m ³ /s
Average discharge which can be stored.	291 m ³ /s
Pumping capacity at Nordre älv	339 m ³ /s
Pumping capacity at Göta älv	170 m ³ /s

Table 0-1 Capacities during a 27hr storm for the present situation (reference Gudrun)

An increase in sea level of 1,5m is expected at the year of 2150. The change that the barriers close at MW +2,3m is significantly higher which results in zero storage capacity during a storm surge. The pumping capacities of a pumping station at the Nordre älv and the Göta älv, using the 2/3th and 1/3th relations at the bifurcation, for the reference storm Gudrun are presented in Table 0-2.

Aspect	Discharge
Total discharge	800 m ³ /s
Average discharge which can be stored.	0 m ³ /s
Pumping capacity at Nordre älv	533 m ³ /s
Pumping capacity at Göta älv	267 m ³ /s

Table 0-2 Pumping capacities for 2150 (reference Gudrun)

A maximum allowable flow of 1800 m³/s can be released at lake Vänern according to the Vattendom. The available head at Lilla Edet is probably too low to facilitate this amount of discharge due to the high downstream water level. For example: during recent storms, the discharge of water at Lilla Edet was minimized/stopped due to the lack of sufficient discharge capacity. It is assumed that the storage capacity will be negligible and the full discharge needs to be pumped into sea. The capacities of each pumping station is presented in Table 0-3.

Aspect	Discharge
Total discharge	1800 m ³ /s
Average discharge which can be stored.	0 m ³ /s
Pumping capacity at Nordre älv	1200 m ³ /s
Pumping capacity at Göta älv	600 m ³ /s

Table 0-3 Pumping capacity for the Vattendom discharge with negligible storage capacity

Reducing discharge of Lake Vänern

During meetings with Vattenfall, the possibilities for limiting the discharge at Lake Vänern are investigated. When the discharge from Lake Vänern is limited or even zero, the pumping capacity at both barriers can be limited.

Vattenfall is able to regulate the flow from a maximum flow of 850m³/s down to 170m³/s within 1,5 to 2 hours.

The period of time for which this discharge can be maintained depends on:

- The water level in Lake Vänern before a storm surge
- The water level downstream of Lilla Edet
- The power production demand.

No guarantee can be given for a limited discharge during a storm surge.

The minimum discharge in the Göta älv cannot be set at zero during a storm surge. The water release at Lilla Edet can never be zero. Therefore the system of barriers has to be able to store or discharge a discharge equal to the minimum discharge at Lilla Edet.

The discharge can be fully stored for storm durations shorter than 45 hours for the present situation when the barriers are closed at MW +1,4m. For longer lasting storms, an average discharge has to be pumped out during the total duration of the storm as presented in Figure 2.

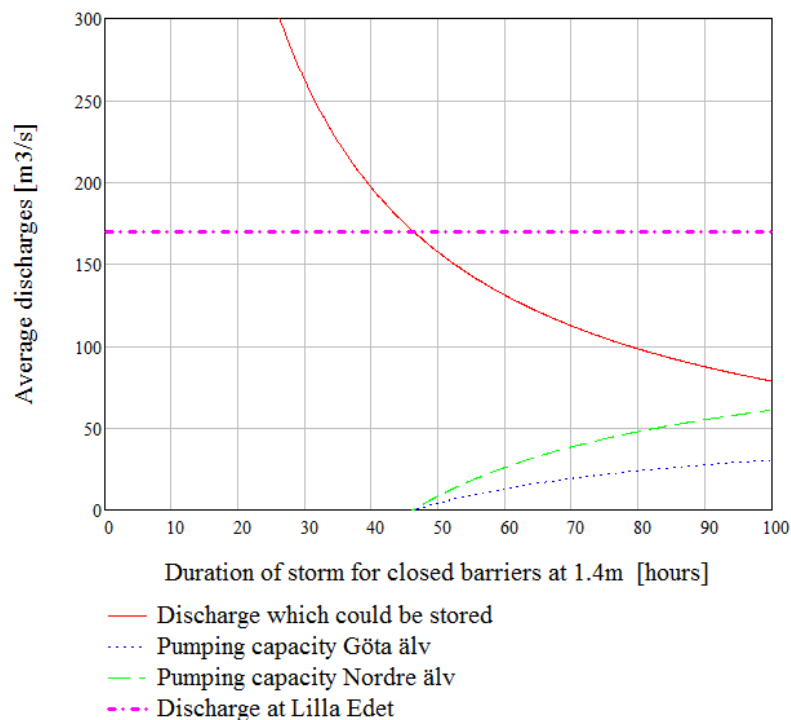


Figure 2 Pumping capacity at the pumping stations as a function of storm duration [for only the discharge of Lake Vänern](#)

When the barriers will close at MW +2,3m due to sea level rise, no storage capacity is available and the full discharge of Lilla Edet has to be pumped out.

Sketch Jordfallsbron

The chosen variant concerns a barrier at the Älvsborgsbron and in the Nordre älv. Therefore, a design for a barrier at the Jordfallsbron has not been made. During the workshop on Monday 27th of October 2014 two sketches have been made for a barrier at the bifurcation. The sketches are presented in Figure 1 and Figure 2. **No assessment or analysis is made for the selection of these locations and the types of gates.** Figure 1 and Figure 2 only serve as 'impressions'.

The barrier sketched in Figure 1 is composed of:

- A levee/dam located at the western floodplains.
- A levee/dam located at the eastern floodplains
- A barrier constructed at the present industrial area.
- Temporally barriers at the highway and railway to connect the eastern barrier to the higher grounds.

The barrier sketched in Figure 2 is composed of:

- A new navigational channel
- A dam dividing the Nordre älv and the Göta älv
- A weir/regulator located at the bifurcation
- Temporally barriers at the highway and railway to connect the eastern barrier to the higher grounds.

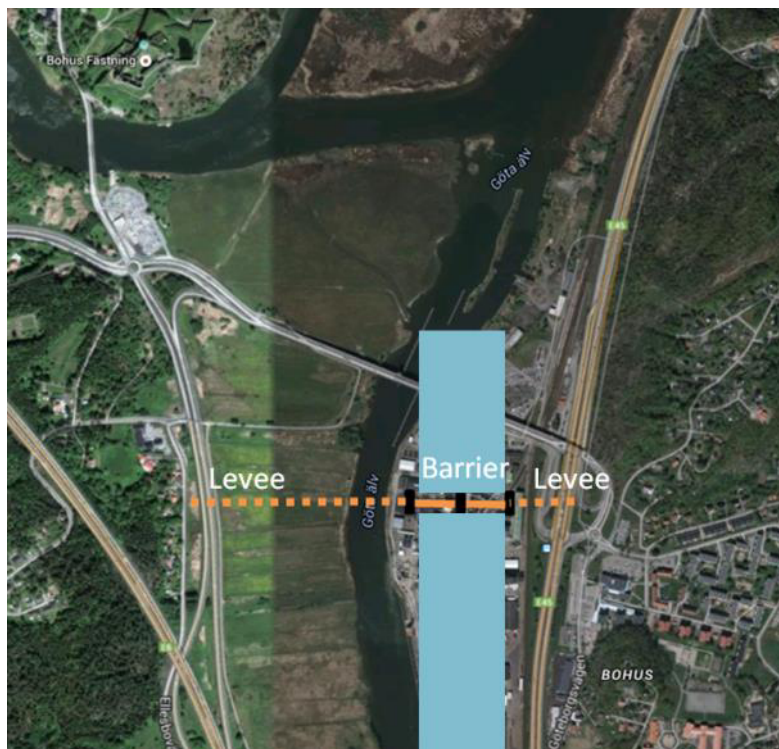


Figure 1 Barrier in the downstream section of the Göta älv



Figure 2 Barrier in the upstream section of the Göta älv

BILAGA 9



KOSTNADSBEDÖMNING

YTTRE PORTAR MOT HAVET

FÖR ATT SKYDDA MOT ÖVERSVÄMMNING VID HÖG HAVSNIVÅ



Göteborgs Stad
Stadsbyggnadskontoret



Sammanfattning

1. Kostnadsbedömning	7
Översikt av kostnader för respektive skyddsport	8
Aspekter att beakta	11
2. Kostnadsbedömning av skyddsportar utanför Älvsborgsbron	15
Utformning enligt förstudie	16
Kostnadsbedömning av skyddsport	18
Skyddsport	18
Uppströms bottenskydd	19
Nedströms bottenskydd	20
Läckageskydd	21
Anläggningsarbete	21
Anläggningsgrop	22
Fundament	23
Fördämning mellan skyddsport och pumpstation	24
Kostnadsbedömning av pumpstation	25
Uppströms bottenskydd	25
Nedströms bottenskydd	26
Läckageskydd och spont	26
Pumpar, elektriska komponenter, drift och kontrollenheter	27
Reservkraftförsörjning	28
Anläggningsgrop	29
Fundament	29
Anläggande av pumpstation vid Älvsborgsbron (betongstrukturer)	30
3. Kostnadsbedömning av skyddsport i Nordre älv	33
Utformning enligt förstudie	34
Kostnadsbedömning av skyddsport	35
Skyddsport	35
Uppströms bottenskydd	36
Nedströms bottenskydd	38
Läckageskydd	38
Anläggningsarbete (betongstrukturer)	39
Anläggningsgrop	40
Fundament	40
Kostnadsbedömning av pumpstation	42
Uppströms bottenskydd	42
Nedströms bottenskydd	44
Markarbete för anläggande av kanal uppströms och nedströms pumpstationen	44
Läckageskydd och spont	46
Fördämning	46
Pumpar, elektriska komponenter, drift och kontrollenheter	46
Reservkraftförsörjning	47
Anläggningsgrop	48
Fundament	48
Anläggande av pumpstation vid Älvsborgsbron (betongstrukturer)	49
4. Kostnader för underhåll och personal	51
Kostnader för underhåll	52
Personal	52

Sammanfattning

Inom projektet "Yttre portar för att skydda mot översvämningar vid hög havsnivå" har en kostnadsbedömning genomförts. Kostnadsbedömningen avser en skyddsport och pumpstation utanför Älvsborgsbron (Göteborgsgrejen) samt en skyddsport och pumpstation vid den befintliga Ormoskärmen (Nordre älvgrejen). Bedömning av kostnader har gjorts utifrån de utformningsförslag som har beskrivits i förstudiens huvudrapport. Till viss del har kostnader för motsvarande referensanläggningar använts.

Den totala kostnaden för båda skyddsportarna (inkl. pumpstationer) uppskattas enligt kostnadsbedömningen bli ca 394 – 843 miljoner EUR, dvs. ca **3,7 – 7,9 miljarder SEK**.

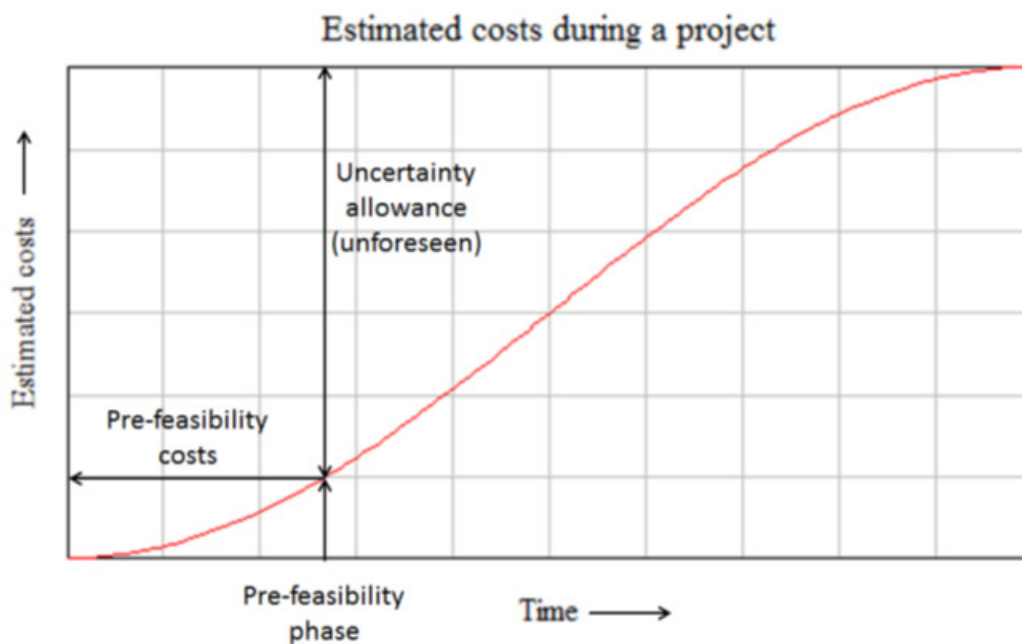
1. Kostnadsbedömning

Översikt av kostnader för respektive skyddsport

Tabell 1 presenterar en kostnadsbedömning av de skyddsportar och pumpstationer som har utretts i förstudien. Beläggen för bedömda skyddsportskostnader redovisas i kapitel 3 och 4. Kostnader bedöms för de utformningsförslag som framgår i förstudien "Yttre portar för att skydda mot översvämning vid hög havsnivå. Detaljnivån i förstudien är relativt låg, varför ett flertal antaganden gällande utformning och kostnader har gjorts. En sammanställning av genomförda antaganden presenteras i kapitel "Kostnadsbedömning av skyddsport" sid. 18

Kostnadsuppskattningen är en första indikation på de faktiska kostnader som kan uppstå. I dagsläget är det inte möjligt att göra mer detaljerade kostnadsbedömningar då flera osäkerhetsfaktorer råder. Markförhållanden, belastning på portar (från isbildning, sammankoppling med omgivning) etc. kan öka kostnaderna avsevärt. För att åstadkomma en mer noggrann kostnadsbedömning erfordras mer information om skyddsportarnas exakta läge samt information om omgivande miljö. Genom att mer i detalj undersöka lokaliseringar och omgivningsfaktorer, förväntas kostnadsbedömningen öka enligt figur 1.

Den kostnadsbedömning som presenteras i denna rapport är en indikation av de faktiska kostnader som kopplas till skyddsportarna i förstudien.



Figur 1. (Bedöms) kostnad under en projektperiod (tolkning, ej skalenligt).

Objekt	Kostnad	Total kostnad
<i>Skyddsport vid Älvsborgsbron</i>		
Skyddsport	32.880.000 EUR	106.952.237 EUR
Uppströms bottenskydd	5.398.050 EUR	
Nedströms bottenskydd	5.398.050 EUR	
Läckageskydd	Inkluderas i bottenskydd	
Undervattensstrukturer	27.975.937 EUR	
Anläggningsgrop	10.650.000 EUR	
Fundament	22.950.200 EUR	
Fördämning	1.700.000 EUR	
<i>Pumpstation vid Älvsborgsbron</i>		
Uppströms bottenskydd	1.881.700 EUR	63.251.215 EUR
Nedströms bottenskydd	1.881.700 EUR	
Läckageskydd	Inkluderas i bottenskydd	
Pump, el, drift och kontroll	11.551.152 EUR	
Reservkrafförsörjning	4.095.000 EUR	
Anläggningsgrop	Bedoms i samband med skyddsporten	
Fundament	29.325.256 EUR	
Byggnad	14.516.408 EUR	
<i>Skyddsport i Nordre älv</i>		
Skyddsport	22.020.000 EUR	49.673.815 EUR
Uppströms bottenskydd	3.036.403 EUR	
Nedströms bottenskydd	3.036.403v	
Läckageskydd	Inkluderas i bottenskydd	
Undervattensstrukturer	11.423.862 EUR	
Anläggningsgrop	6.090.000 EUR	
Fundament	4.067.147 EUR	
<i>Pumpstation i Nordre älv</i>		
Uppströms bottenskydd	3.360.350 EUR	81.934.488 EUR
Nedströms bottenskydd	3.360.350 EUR	
Utgrävning av nedströms och uppströms kanal	401.127 EUR	
Läckageskydd	Inkluderas i bottenskydd	
Fördämning	Inkluderas i anläggningsarbetet	
Pump, el, drift och kontroll	21.434.608 EUR	
Reservkrafförsörjning	8.085.000 EUR	
Anläggningsgrop	Bedöms i samband med skyddsport	
Fundament	18.599.757 EUR	
Byggnad	26.693.297 EUR	
Total uppskattad kostnad för skyddsportar*;		301.811.755 EUR

*exklusive kostnader i tabellen på sida 10.

Total uppskattad kostnad för skyddsportar, exklusive	
Ingenjörskostnader	PM
Kostnad för att integrera skyddsportar i ett storskaligt system för att skydda Göteborg mot översvämningar (vallar, mindre portar etc. som kopplas till skyddsportarna)	PM
Effekt av säsongsvariationer i konstruktionsskedet	PM
Tillfälliga åtgärder (trafikhantering, omledning av väg etc.)	PM
Genomförandeskostnader vid infasning	PM
Fastighetskostnader	PM
Vidkommande kostnader ex. forskning, tillstånd, kompensationsåtgärder, försäkringar etc.	PM
Kabel- och rörkostnader	PM
Logistikkostnader (omgivning och tillgänglighet)	PM
Arkitekturstkostnader	PM
Integration av skärm för läckageskydd (befintliga byggnader, vägar osv. bortses ifrån).	PM
Skatt	PM
Osäkerhetstillåtelse	PM
Bedömd faktor för totala tillägg	1.98
Uppskattad totalkostnad	597.587.275 EUR
Bandbredd för 70% konfidensintervall av totalkostnad; lägre gräns	418.000.000 EUR
Bandbredd för 70% konfidensintervall av totalkostnad; övre gräns	896.000.000 EUR
Uppskattad kostnad inkl. tillägg, för skyddsport vid Älvsborgsbron	211.765.430 EUR
Bandbredd för 70% konfidensintervall av totalkostnad; lägre gräns	148.235.801 EUR
Bandbredd för 70% konfidensintervall av totalkostnad; övre gräns	317.648.146 EUR
Uppskattad kostnad inkl. tillägg för pumpstation vid skyddsporten utanför Älvsborgsbron	125.237.405 EUR
Bandbredd för 70% konfidensintervall av totalkostnad; lägre gräns	87.666.184 EUR
Bandbredd för 70% konfidensintervall av totalkostnad; övre gräns	187.856.108 EUR
Uppskattad kostnad inkl. tillägg för skyddsport i Nordre älv	98.354.153 EUR
Bandbredd för 70% konfidensintervall av totalkostnad; lägre gräns	68.847.907 EUR
Bandbredd för 70% konfidensintervall av totalkostnad; övre gräns	147.531.229 EUR
Uppskattad kostnad inkl. tillägg för pumpstation vid skyddsport i Nordre älv	162.230.286 EUR
Bandbredd för 70% konfidensintervall av totalkostnad; lägre gräns	113.561.200 EUR
Bandbredd för 70% konfidensintervall av totalkostnad; övre gräns	243.345.429 EUR

Tabell 1. Kostnadsbedömning för respektive skyddsport och pumpstation.

Aspekter att beakta

- Vallar vid älvstranden är ej inkluderade.
- Kostnader för integrering av ledningssystem i pumpstationen vid skyddsporten utanför Älvsborgsbron är ej inkluderade.
- Styrke- och stabilitetsberäkningar behöver genomföras.
- Geotekniska utredningar måste genomföras för att minska osäkerheten kring geotekniska förhållanden i samband med skyddsportarnas och pumpstationernas lokalisering.
- Kostnader för resningsmetod beror till hög grad av tillgänglig utrustning samt säsongsvariationer, vilket ej har beaktats i denna kostnadsbedömning.
- Inga detaljerade beskrivningar av drift och kontroll har gjorts. Dessa aspekter utgör viktiga delar av den totala kostnaden för skyddsporten. En procentsats på 10 % av den bedömda kostnaden för hydraulisk utrustning har tagits med i denna inledande kostnadsbedömning.
- Tillfälliga åtgärder (trafikhantering, vägvastängning etc.) har ej inkluderats i kostnadsbedömningen.
- Genomförandekostnader till följd av infasning inkluderas ej i kostnadsbedömningen. Kostnader för att anlägga en skyddsport i två faser, i syfte att bibehålla en öppen förbindelse mellan uppströms/nedströms sida älven, kan vara mycket högre än om skyddsporten anläggs i en fas (och därmed blockerar älven)
- Jämförpriser för den Nederländska marknaden (prisnivå år 2014) har använts i kostnadsbedömningen. Jämförpriser kan variera med hänsyn till motsvarande prisnivåer i Sverige.
- Kostnader för åtgärder (liten skyddsport/lucka) i Kvillebäcken har ej tagits med i bedömningen. En bedömning är att Kvillebäcken kan komma att utgöra en förbindelse mellan den oskyddade delen av Nordre älv (bakom barriären) och den oskyddade delen (nedströms barriären).
- Exkluderat i kostnadsbedömningen är:
 - Fastighetsvärden
 - Ingenjörskostnader
 - Tilläggskostnader som forskning, tillstånd, kompensationsåtgärder, försäkringar etc.
 - Kostnader för kablar och ledningar
 - Kostnader för omgivande miljö och tillgänglighet (logistik)
- Generella antaganden för skyddsportarna
 - Skyddsportarna kommer att transporteras till portlokaliseringen via pråm, och kommer att anläggas mha. en lyftkran (alternativt flytande lyftkran).
 - Kostnader för anoder är ej inkluderade
 - Kostnader för skyddsportar baseras på användande av vanligt stål, ej Duplex-stål

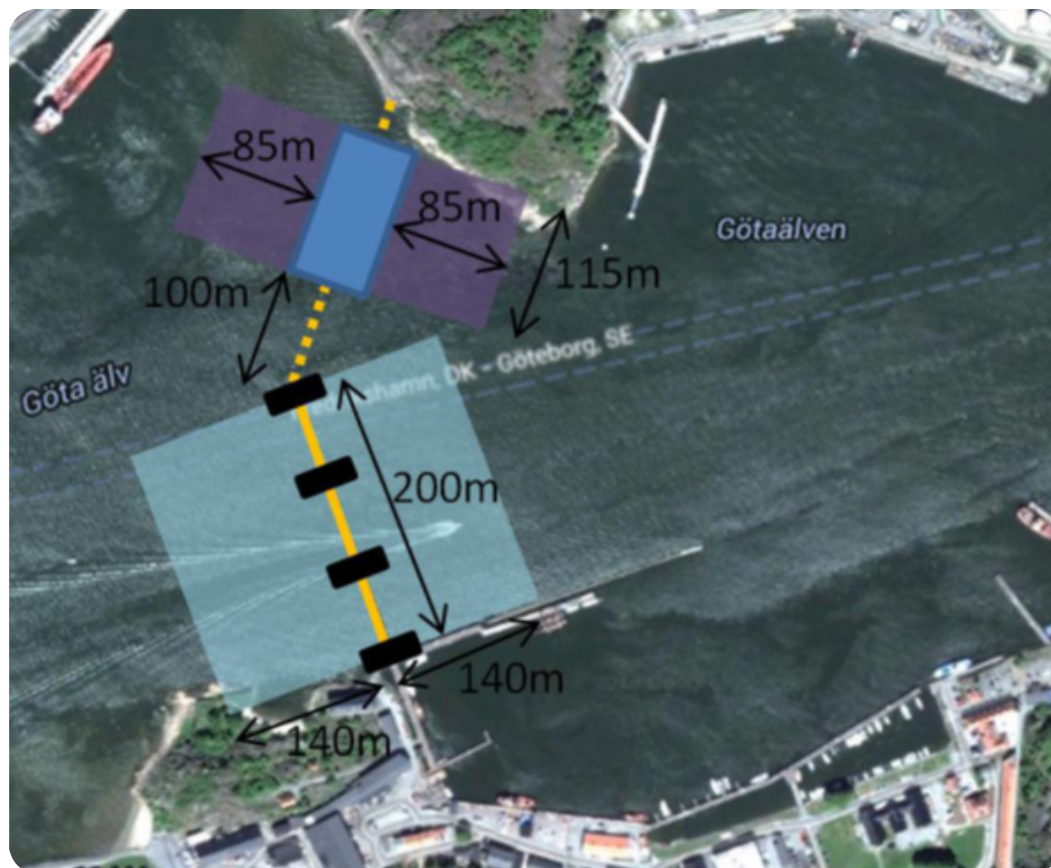
-
- Generella antaganden för bottenskydd
 - Ingen utgrävning av underliggande mark
 - Grus, sten samt stenmadrass tillämpas
 - Generella antaganden för under- och överstrukturer
 - Kostnader för sidostöd och trösklar baseras på utformningsförslag i förstudien (dvs. expertutlåtanden). Inga detaljerade studier har genomförts för sidostöd eller trösklar, varför utformningen av dessa komponenter kan komma att medföra högre kostnader än förväntat
 - Kostnader för slutföringsarbete, inhägnader, trösklar samt markåtgärder är ej inkluderade
 - Generella antaganden för anläggningsgrop
 - Spont kommer att vara kvar efter att anläggningsarbetet har slutförts
 - Kostnader för avslutande arbete, inhägnad, trösklar samt markåtgärder bedöms i kostnadsbedömningen utgöra 20 % av kostnaderna för över- och understrukturer i betong.
 - För att åstadkomma en stabil anläggningsgrop krävs pumpning. Kostnader för pumpning är ej inkluderade
 - Generella antaganden för fundament
 - Kostnaderna för fundament är högst osäkra m.a.p. osäkerhet i markegenskaper, bergdjup etc.
 - Ett antagande har gjorts för utformningen av fundament; Ingen dimensioneringskontroll har utförts för att bekräfta val av galler, pållängder och diameter. En mer detaljerad studie kan eventuellt medföra att kostnaderna för dessa aspekter ökar.
 - Rörformade stålpelare tillämpas
 - Fundamentpelare antas komma att borrar ned ett antal meter i berggrunden
 - Ett galler på 4x4 m tillämpas
 - Pålarnas diameter antas vara ca 1 m och dessa kommer att vara fyllda med betong och armeringsjärn.
 - Generella antaganden för pumpstationer
 - Kostnader för pumpar, elektriska system samt drift och kontroll baseras på information från ett referensprojekt. För en mer precis kostnadsbedömning krävs detaljerade studier.
 - Kostnader för pumpar baseras på ett scenario med möjlighet att släppa allt vatten från Väneren till älven; En optimering kan troligen uppnås genom att reglera flödet från Väneren samt att inkludera graden av havsnivåhöjning
 - Spänningen från installation av pumparna har ej tagits med i kalkylen, varför generella värden har antagits
 - Pumpar antas ej vara frekvensdrivna
 - Installation av ett icke-bromssystem är ej medräknat
 - Kostnader är avhängig driften av E-motorer samt erforderlig elförsörjning baserat på typen av drift (mjukstartare, frekvenskonverterare osv.); Kostnader som presenteras baseras på ett "mjukstartat system" vilket ofta är mest fördelaktigt (elbehovet motsvarar 1,7 gånger nominalbehovet vid pumpning). Elbehovet kan öka signifikant (erforderligt elbehov kan vara 6-7 gånger nominalbehovet för pumpning vid tillämpning på ex. ett direkt drivsystem).

-
- Inga ventilationssystem inkluderas i kostnaderna
 - Tilläggskostnader bör bedömas för; ytterligare stålkonstruktioner, hissanordningar i pumpstationen, inhägnad, reservdelar, transportramar etc.
 - Kopplingen av pumparnas elsystem till stadens elnät har ej inkluderats i beräkningarna, varför kostnader för högvoltskablar mm bör inkluderas.
- Generella antaganden för reservkrafförsörjning
 - Kostnadsuppskattningen exkluderar generatorbyggnader, kostnader för byggnadsfundament samt ventilationskostnader
 - Pumparna är ej frekvensdrivna
 - Installation av ett icke-bromssystem är ej inkluderat

2. Kostnadsbedömning av skyddsport utanför Älvsborgsbron

Utformning enligt förstudie

Skyddsporten i Göteborgsgrenen har i förstudien föreslagits en lokalisering strax väster om Älvsborgsbron, vilket framgår i nedanstående bild.



Figur 2. Skyddsport utanför Älvsborgsbron. Blå polygon representerar pumpstationen och streckad linje representerar en kompletterande fördämning.

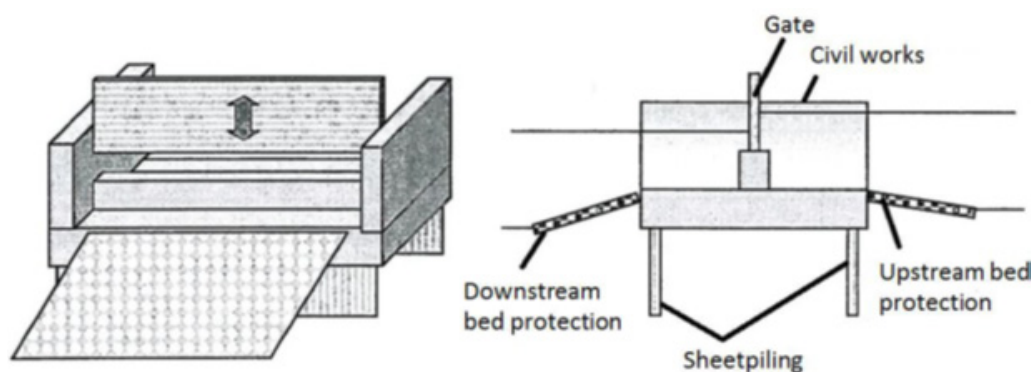
I samband med en höglödesprognos för höga vattennivåer i Göta älv, stängs skyddsporten. All sjöfart stoppas medan porten är stängd. En pumpstation med erforderlig kapacitet finns belägen intill skyddsporten, i syfte att kontrollera vattennivåerna bakom barriären. Skyddsporten består av tre större öppningar med segmentportar nedsänkta i farleden.

Generellt sett så består en skyddsport av ett flertal objekt som syftar till att stänga av flödet i vattendraget. De huvudsakliga komponenterna, vilka indikeras i nedanstående figur, är:

- Bottenskydd uppströms
 - Bottenskyddet uppströms skyddar bottenmiljön mot erosion på den uppströms liggande delen av strukturen. Ett bottenskydd anläggs, vilket syftar till att stå emot vattenflöden och därmed skydda älvbotten mot erosion. Skyddsporten kan bli instabil och kollapsa i det fall landmassor avlägsnas pga. strömmar och bildar större håligheter nära strukturen.
- Anläggningsarbeten
 - Den överliggande strukturen utgörs av pirar och sidostöd, vilka stöder själva skyddsportarna, skotten, portmaskineriet etc. och överför istället belastningen till fundamentet.

- Den underliggande strukturen utgör ett stabilt stöd för hela skyddsportstrukturen, och belastning på skyddsporten förflyttas via den underliggande strukturen till underliggande mark.

- Skyddsport(ar)na
 - Portarna är de element i strukturen som håller emot vattnet vid ett stormtillfälle. Portarna förflyttar de hydrauliska krafterna till de överliggande strukturerna.
- Nedströms bottenskydd
 - Bottenskyddet nedströms skyddar botten mot erosion på nedströms liggande sida av strukturen
- Läckageskydd/spont/fundament
 - Sponten förlänger läckageskyddet under strukturen, i syfte att förebygga eroderingsproblem.
 - Ett fundament förflyttar de hydrauliska krafterna från strukturen till underliggande marklager.



Figur 3. Huvudkomponenter i dammkonstruktion.

Kostnaden som gäller för en förstudienivå baseras på den bedömda kostnaden det huvudsakliga projektet som presenteras i ovanstående figur, fundamentet för anläggningsgropen. Dimensionerna för skyddsporten presenteras i nedanstående tabell. Belägen för respektive kostnad presenteras i tabell 2.

Parameter	Värde
Antal öppningar	3
Öppningsbredd	50 m
Tröskelhöjd	MW -11 m
Övre nivå vid stängd port	MW +5 m
Skyddsportens totala höjd	16 m
Uppskattad vikt för skyddsport	270 ton
Dämpare	
Pumpkapacitet	267 m ³ /s
Pumpar	11

Tabell 2. Dimensionering av skyddsport utanför Älvsborgsbron.

Kostnadsbedömning av skyddsport

Skyddsport

Kostnaderna för skyddsporten är avhängiga skyddsportens vikt, jämförpris per kilo, anläggningsmetod samt den hydraulik som erfordras för att lyfta skyddsporten. Kostnader för anläggningsmetod beror till hög grad på vilken utrustning som finns tillgänglig samt på säsongsvariationer. Kostnader som används i följande bedömning baseras på en anläggningsmetod där en pråm används för att transportera skyddsporten, samt en lyftkran vilken hissar upp skyddsporten till rätt position. I nedanstående tabell presenteras en uppdelad kostnadsbeskrivning för en skyddsport. Uppgifter om skyddsportens vikt baseras på ett referensobjekt med en motsvarande skyddsport lokaliserad i Ems, Tyskland.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Skyddsport		3	Mängd	10.960.000,00 EUR	32.580.000 EUR
Port	1400 ton för respektive port	4.200	Metrisk ton	7.000,00 EUR	29.400.000 EUR
Ballastsystem	1 ballast system	1	Mängd	300.000,00 EUR	300.000,00 EUR
Pråm	3 användnings- tillfällen	3	Mängd	100.000,00 EUR	300.000 EUR
Kran	3 användnings- tillfällen	3	Mängd	250.000,00 EUR	750.000 EUR
Expertis och personal	3 användnings- tillfällen	3	Mängd	50.000,00 EUR	150.000 EUR
Hydraulik	1 system per gate	3	Mängd	600.000,00 EUR	1.800.000 EUR
Drift och kontroll	10% av hydrauliska kostnader	10%		1.800.000,00 EUR	180.000 EUR
Avrundning					-
Total direktkostnad					32.880.000 EUR
Tillägg					1.00
Total kostnadsbedömning					32.880.000 EUR

Tabell 3. Kostnadsbedömning av skyddsport.

Kommentarer:

- Kostnadsbedömning inkluderar tillägg
- Kostnadsbedömning inkluderar reservationer
- Kostnadsbedömningen bör göras mer detaljerad avseende ballastsystemet samt hydrauliska aspekter
- Anoder är ej inkluderade
- Duplex-stål är ej inkluderat

Uppströms bottenskydd

Uppströms liggande bottenskydd skyddar bottenmiljön mot erosion på den uppströms liggande sidan av portstrukturen. Bottenskyddet anläggs för att motstå strömmar och syftar till att skydda älvbädden mot erosion. Det antas att bottenskyddet utgörs av armerad sten, stensbeläggningar och grus vilket antas köpas in per metriskt ton. Volymen för bottenskyddet samt bedömd kostnad anges nedan.

En tumregel, vilket presenteras i följande formel, används för att bedöma bottenskyddets längd.

$$L_{\text{bed protection}} = 10 * d$$

I vilken:

$$L_{\text{bed protection}} = \text{bottenskyddets längd [m]}$$

$$d = \text{vattendjupet [m]}$$

Vattennivån, älvbottenivån samt det maximala vattendjupet utanför Älvsborgsbron presenteras i nedanstående tabell.

Aspekt	Nivå
Tröskelnivå (antas vara samma som bottenivå)	MW -11 m
Normalvattennivå	MW
Vald vattennivå	Ref + 3 m
Maximalt vattendjup	14 m

Tabell 4. Vattennivåer och bottenivåer.

En längd på 210 meter bedöms vara nödvändigt, vilket (utifrån ovanstående formel) resulterar i en maximal vattennivå på 14 meter. Bottenskyddets volym kan beräknas utifrån bottenskyddets längd, bredd och tjocklek. Volymen multipliceras med den volymetriska densiteten i syfte att bedöma antalet metriska ton som behöver köpas in. Skyddsportens bredd är ca 200 m vilket presenteras i nedanstående figur. Bottenskyddets tjocklek antas behöva vara ca 1 m. En kostnadsbedömning av dessa komponenter anges i tabell 5 sid 20.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Uppströms bottenskydd		1,00	Mängd	5.398.050 EUR	5.398.050 EUR
Uppströms bottenskydd	200x210 m ² , d=1 m	42.000,00	m ³	-	-
	2.650 kg/m ³	111.300,00	Metrisk ton	48,50 EUR	5.398.050 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					5.398.050 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					5.398.050 EUR

Tabell 5. Kostnadsbedömning för uppströms bottenskydd.

Kommentarer:

- Kostnadsbedömning inkluderar tillägg
- Kostnadsbedömning exkluderar blockeringsmatta och liknande bottenskyddsåtgärder

Nedströms bottenskydd

Vattendjupet vid det nedströms liggande bottenskyddet (bredd samt tjocklek) motsvarar vattendjupet vid det uppströms liggande bottenskyddet, varför även de bedömda kostnaderna antas vara jämförbara. Kostnader för det nedströms liggande bottenskyddet presenteras i nedanstående tabell.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Nedströms bottenskydd		1,00	Mängd	5.389.050 EUR	5.398.000 EUR
Nedströms bottenskydd	200x210 m ² , d=1 m	42.000,00	m ³	-	-
	2.650 kg/m ³	111.300,00	Metrisk ton	48,50 EUR	5.398.050 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					5.398.000 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					5.398.050 EUR

Tabell 6. Kostnadsbedömning av nedströms bottenskydd.

Kommentarer:

- Kostnadsbedömning inkluderar tillägg
- Kostnadsbedömning exkluderar blockeringsmatta och liknande bottenskyddsåtgärder.

Läckageskydd

Ett grundvattenflöde under, eller längs med, skyddsportstrukturen kan uppstå då en viss trycknivå över strukturen råder, och läckageavståndet är för litet. För att kunna täppa igen läckaget under strukturen, behöver ett läckageskydd i form av en skärm, spont eller betongvägg anläggas.

I området kring Älvsborgsbron finns berg i dagen på båda sidor älven. Bottennivåns djup ökar relativt snabbt från berget och ned mot älven. Tidigare geotekniska studier i området har visat att det kan finnas ett ca 40-100 m mäktigt lerlager i älven. Dock har dessa studier endast täckt in ett område ca 10 m ut i vattnet från älvstranden. Vid skyddsportens föreslagna lokalisering finns i dagsläget ingen heltäckande information tillgänglig. Jordlager med friktionsjord under lerlagret indikerar en stor variation i jordlagren.

Med anledning av hög variation i markförhållanden, är det osäkert huruvida spont kan användas för att ge ett tillräckligt läckageskydd med tanke på närheten till berg. Vidare så bedöms det vara osäkert huruvida en helt vattentät förbindelse till den bergiga överytan kan åstadkommas. Av denna anledning föreslås att ingen strypning av vattenläckage tillämpas vid skyddsporten. Läckage under skyddsporten kan tillåtas inträffa, men erosion av älvbädden orsakat av läckageflöde måste hanteras. Detta kan göras genom att utforma ett filter på nedströms sida av skyddsporten, vilket hindrar underliggande jordlager att transporteras, men möjliggör att vatten kan flöda ut från marklagret. Denna filterlösning föreslås ingå i skyddsportens bottenkydd och ingår därför i kostnadsbedömningen.

Anläggningsarbete

Kostnadsbedömningen för underliggande samt överliggande strukturer relateras till mängden betong som erfordras för skyddsporten. Bedömd volym betong presenteras i nedanstående tabell.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Under- och överkonstruktion		39.965,63	m ³	700,00 EUR	27.975.938 EUR
Bottenplatta	50m x 24m x 5m. 3 massiva bottnar	18.000,00	m ³		
Pyloner	50m x 9m x 17,75m. 4 pyloner. 70% betong och 30% kaviteter	21.965,63	m ³		
Total volym betong		39.965,63	m³		
Avrundning					
Total direktkostnad					27.975.938 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					27.975.938 EUR

Tabell 7. Kostnadsbedömning för anläggningsarbete.

Kommentarer

- Kostnadsbedömningen inkluderar tillägg

Anläggningsgrop

En anläggningsgrop bör skapas vid anläggandet av skyddsporten. En kostnadsbedömning för anläggningsgrop har gjorts, vilken baseras på expertbedömning. Kostnaderna har bedömts för en anläggningsgrop för skyddsport samt pumpstation utanför Älvsborgsbron. Anläggningsgropen antas komma att konstrueras med spontpålar, tre stödnivåer samt undervattensbetong. Kostnaderna framgår i nedanstående tabell.

Det uppåtgående vattentrycket, under lagret av undervattensbetong, är högre än det nedåtgående trycket som orsakas av vikten från undervattensbetongen och dragningskraften från pålarna. Därför behöver pumpar anläggas, vilka används för att minska vattentrycket. Pumpkapaciteten och anläggningsgropens stabilitet bör utredas mer i detalj.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Anläggningsgrop		1,00	Mängd	10.650.000 EUR	10.650.000 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					10.650.000 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					10.650.000 EUR

Tabell 8. Kostnadsbedömning för anläggningsgrop.

Kommentarer

- Kostnadsbedömningen inkluderar tillägg
- Styrke- och stabilitetsberäkningar har ej genomförts
- Bibehållande åtgärder räknas ej in
- Undervattensbetong tas med i beräkningarna
- Det råder i dagsläget stor osäkerhet gällande geotekniska förhållanden i området (ex. mäktighet ned till bergrund osv.), varför kostnaderna för fundament troligen kommer att vara högre i praktiken.
- Vattentrycket behöver sänkas mha. pumpar. Kapacitet och antal pumpar har ej utformats i detalj, och pumpkostnader bedöms därför inte. Dessa aspekter behöver adresseras i en mer detaljerad studie, där bättre information om markförhållanden finns tillgängliga.

Fundament

Skyddsporten måste anläggas så att den kan motstå belastning från yttre krafter, och för att motverka deformation. Skyddsporten kan anläggas genom att utnyttja marklagrets förutsättningar (flytande fundament, bärkapacitet genom axelfriktion) alternativt genom fundament som pålas ned i berggrunden.

Deformation i skyddsporten kan resultera i att porten inte fungerar som den ska, varför deformeringskyddande åtgärder bör vidtas. Ett fundament som baseras på externa krafter är känsligare för deformation jämfört med ett pålat fundament. Därför föreslås att tillämpa ett pålat fundament med rörformade stålplåtar, vilka anläggs i ett 4x4 m nät. Plåtarna fylls då med betong och armeringsjärn. Berggrunden bedöms ligga på ca 100 m djup, vilket resulterar i ca 100 m långa pålar. Ytan för pylonernas fundamentplatta är ca 50 x 9 meter och fundamentplattorna för tröskelstrukturerna är 50 x 24 m vardera. Kostnaderna för fundamenten redovisas i nedanstående tabell.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Över- och understruktur		338	Enheter	68.000,00 EUR	22.950.200 EUR
Rörformade stålplåtar, d=950 mm	Tröskel 50 m x 24 m, 3 trösklar. Pylon 50 m x 9 m, 4 pyloner	5.400,00	m ²		-
Nätmönster		4 x 4	m ²		-
Längd		100	m ²		-
Geotekniska utredningar	3 borrhinar i 16 m bredd inom längden				300.000 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					29.950.200 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					22.950.200 EUR

Tabell 9. Kostnadsbedömning av fundament.

Kommentarer

- Kostnadsbedömningen inkluderar tillägg
- Styrke- och stabiliseringsberäkningar har ej genomförts
- inkluderar betong och armeringsjärn
- Det råder i dagsläget stor osäkerhet gällande geotekniska förhållanden i området (ex. mäktighet ned till berggrund osv.), varför kostnaderna för fundament troligen kommer att vara högre i praktiken. Geotekniska undersökningar bör genomföras.

Fördämning mellan skyddsport och pumpstation

En fördämning förbinder skyddsbarriären med pumpstationen. Fördämningen är grundlagd direkt på marklagret. Översidan av fördämningen ligger på nivån MW +5,0 m. Denna måste kunna stå emot tryck från vågor samt skillnader i vattennivå. Kostnader för fördämningen redovisas i nedanstående tabell.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Anläggningsgrop		44,00	Mängd	17.000 EUR	1.700.000 EUR
Fördämning		100	Löpmeter	12.977.000 EUR	12.977.000 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					12.297.710 EUR
Tillägg					1,31
Totalkostnad exkl. moms					1.700.000 EUR

Tabell 10. Kostnadsbedömning för fördämning.

Kommentarer

- Kostnadsbedömning inkluderar tillägg.
- Styrke- och stabilitetsberäkningar har ej genomförts.
- Det råder i dagsläget stor osäkerhet gällande geotekniska förhållanden i området (ex. mäktighet ned till berggrund osv.), varför kostnaderna för fundament troligen kommer att vara högre i praktiken. Geotekniska undersökningar bör genomföras.
- Skyddsvallar vid den befintliga strandkanten inkluderas ej.

Kostnadsbedömning av pumpstation

Uppströms bottenskydd

Uppströms liggande bottenskydd skyddar bottenmiljön mot erosion på den uppströms liggande sidan av pumpstationen. Bottenskyddet anläggs för att motstå strömmar och syftar till att skydda älvbädden mot erosion. Det antas att bottenskyddet utgörs av armerad sten, stenbeläggningar och grus vilket antas köpas in per metriskt ton. Volymen för bottenskyddet samt bedömd kostnad anges nedan. En tumregel, vilken presenteras i formel kapitel "Uppströms bottenskydd" sid 19, har använts för att bedöma bottenskyddets längd.

Aspekt	Nivå
Uppströms kanaldjup	MW -5 m
Normalvattennivå	Referensnivå
Vald vattennivå	Ref + 3,5 m
Maximalt vattendjup	8,5 m

Tabell 11. Vattennivå och bottennivå.

En längd på 127,5 m bedöms vara nödvändigt, vilket (utifrån ovanstående formel) resulterar i en maximal vattennivå på 8,5 meter.

Uppströms och nedströms liggande bottenskydd för pumpstationen kommer att kopplas samman med respektive bottenskydd för själva skyddsporten, vilket anges i nedanstående figur.

Bottenskyddets volym kan beräknas utifrån bottenskyddets längd, bredd och tjocklek. Volymen multipliceras med den volymetriska densiteten i syfte att bedöma antal ton betong som erfordras för bottenskyddet. Kanalens bredd är ca 115 m, vilket presenteras i nedanstående tabell. Bottenskyddets tjocklek bedöms behöva vara ca 1 m. En kostnadsbedömning av det uppströms liggande bottenskyddet anges i nedanstående tabell.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Uppströms bottenskydd		1,00	Mängd	1.881.699 EUR	1.881.699 EUR
Uppströms bottenskydd	127,5 x 115 m ² , d=1 Löpmeter	14.662,00	m ³	-	-
	2.700 kg/m ³ p _{cavity} =38%	38.855,00	Metrisk ton	48,50 EUR	1.881.699 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					1.881.699 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					1.881.699 EUR

Tabell 12. Kostnadsbedömning av uppströms liggande bottenskydd.

Kommentarer

- Kostnadsbedömning inkluderar tillägg
- Kostnadsbedömningen inkluderar ej blockeringsmatta eller motsvarande skyddsåtgärder

Nedströms bottenskydd

Vattendjupet vid bottenskyddet, kanalens bredd samt bottenskyddets tjocklek är motsvarande det uppströms liggande bottenskyddet, varför även kostnadsbedömningen är motsvarande för det nedströms liggande bottenskyddet. Kostnader redovisas i nedanstående tabell.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Nedströms bottenskydd		1,00	Mängd	1.881.699 EUR	1.881.699 EUR
Uppströms bottenskydd	127,5 x 115 m ² , d=1 löpmeter	14.662,00	m ³	-	-
	2.700 kg/m ³ p _{cavity} =38%	38.855,00	Metrisk ton	48,50 EUR	1.881.699 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					1.881.699 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					1.881.699 EUR

Tabell 13. Kostnadsbedömning av nedströms liggande bottenskydd.

Kommentarer:

- Kostnadsbedömningen inkluderar tillägg
- Kostnadsbedömningen avser lös sten/stenbeläggning

Läckageskydd och spont

Skärmar för avskärande läckageskydd samt spont har ej tagits med i utformningsförslaget med avseende på den stora osäkerheten gällande markförhållanden. För att förhindra erosion nedströms pga. ledningsanläggning, föreslås en filterlösning att ingå. Kostnader för filter inkluderas i kostnadsbedömningen.

Pumpar, elektriska komponenter, drift och kontrollenheter

Enligt Tabell 2, så föreslås 11 st. pumpar att installeras i pumpstationen utanför Älvsborgsbron. Pumparna har en kapacitet på 25 m³/s och ett flödestryck på 3,25 m (skillnaden mellan vald vattennivå i Göta älv och normalvattennivå i älven). Komponenter som bör ingå i konstruktionen är:

- Pumpar
- Växellådor
- Elmotorer
- Elinstallationer
- Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)
- Ytterligare komponenter

Vidare, så behöver pumparna monteras och testas. Kostnader för pumpar, elektriska komponenter samt drift- och kontrollenheter presenteras i nedanstående tabell. Kostnaderna baseras på ett referensprojekt med 2012 års prisnivå.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Pumpar, elektriska komponenter, drift och kontrollenheter		1,00	Mängd		9.177.345 EUR
Pump	25 m ³ /s, ΔH=3.25	11	Mängd	551.859 EUR	6.070.449 EUR
Växel, motor etc.	25 m ³ /s, ΔH=3.25	11	Metrisk ton	110,822 EUR	1.219.042 EUR
SCADA*		1	Mängd	820.000 EUR	820.000 EUR
Montering och test		1	Mängd	410.000 EUR	410.000 EUR
Tillägg för skillnad i 2012 och 2014 års prisnivå	3,5 % av totalkostnaden			3,5 %	298.182 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					8.817.673 EUR
Tillägg					1,31
Totalkostnad exkl. moms					11.551.152 EUR

* "Supervisory Control And Data Acquisition"

Tabell 14. Kostnadsbedömning av pumpar, elektriska komponenter, drift och kontroll.

Reservkraftförsörjning

Reservkraftförsörjning är nödvändigt för att säkerställa att pumpstationens funktioner är fullt fungerande även under ett eventuellt elavbrott. Reservkraften genereras genom nödgeneratorer. Dimensionerna för dessa generatorer är jämförbara med storleken på en vanlig lastcontainer. Kostnadsbedömningen för kraftförsörjningssystemet har gjorts för 11 st. nödgeneratorer, vilka möjliggör reservkraft för 11 st. pumpar (7 x 25 = 175 m³/s). Kostnadsbedömningen har gjorts för:

- Utformning
- Inköp
- Montering

Bedömda kostnader redovisas i nedanstående tabell.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Reservkraftförsörjning		1,00	Mängd	375.000,00 EUR	4.120.000 EUR
Generator	20.000kVA	11	Mängd	350.000 EUR	3.850.000 EUR
Bränsletank	20 m ³	1	Mängd	50.000 EUR	50.000 EUR
Kontrollenhet		1	Mängd	10.000 EUR	10.000 EUR
Kablar		1500	Löpmeter	30 EUR	45.000 EUR
Kretsbrytare		11		10.000 EUR	110.000 EUR
Montering		1		30.000 EUR	30.000 EUR
Kylsystem, rörläggning etc.		1		25.000 EUR	25.000 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					4.095.000 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					4.120.000 EUR

Tabell 15. Kostnadsbedömning av reservkraftförsörjning.

Kommentarer:

- Kostnadsbedömning inkluderar tillägg
- Kostnadsbedömningen exkluderar
 - byggnad
 - byggnadsfundament
 - ventilationssystem
- Pumpar är ej frekvensdrivna
- Icke-bromssystem tillämpas ej
- Spänning under installation tas ej i beaktande
- Kostnader är avhängig driften av E-motorer samt erforderlig elförsörjning baserat på typen av drift (mjukstartare, frekvenskonverterare osv.); Kostnader som presenteras baseras på ett "mjukstartat system" vilket ofta är mest fördelaktigt (elbehovet motsvarar 1,7 gånger nominalbehovet vid pumpning). Elbehovet kan öka signifikant (erforderligt elbehov kan vara 6-7 gånger nominalbehovet för pumpning vid tillämpning på ex. ett direkt drivsystem).

Anläggningsgrop

En anläggningsgrop måste skapas i samband med anläggande av skyddsporten. Kostnadsbedömningen för anläggningsgropen baseras på expertutlåtanden, och är generellt jämförbara med bedömningen för skyddsportens anläggningsgrop

Fundament

Skyddsporten måste anläggas så att den kan motstå belastning från yttre krafter, och för att motverka deformation. Pumpstationen kan anläggas genom att utnyttja marklagrets förutsättningar alternativt genom fundament som pålas ned i berggrunden.

Ett fundament som baseras på externa krafter är känsligare för deformation jämfört med ett pålat fundament. Därför föreslås tillämpning av ett pålat fundament med rörformade stålplålar, vilka anlägg i ett 4x4 m nätmönster. Plålarerna fylls då med betong och armeringsjärn. Berggrunden bedöms ligga på ca 100 m djup, vilket resulterar i ca 100 m långa plålar. Ytan för fundamentplattan är ca 115 x 60 meter och fundamentplattorna för tröskelstrukturerna är 50 x 24 m vardera. Kostnaderna för fundamenten redovisas i nedanstående tabell.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Över- och understruktur		431	Enheter	68.000,00 EUR	29.325.256 EUR
Rörformade stålplålar, d=950 mm	Tröskel 60 m x 115 m	13.500,00	m ²		-
Galler		4 x 4	m ²		-
Längd		100	m		-
Avrundning					
Total direktkostnad					29.325.692 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					29.325.256 EUR

Tabell 16. Kostnadsbedömning av fundament.

Kommentarer:

- Kostnadsbedömningen inkluderar tillägg
- Styrke- och stabilitetsberäkningar har ej genomförts
- Betong och armeringsjärn inkluderas
- Det råder i dagsläget stor osäkerhet gällande geotekniska förhållanden i området (ex. mäktighet ned till berggrund osv.), varför kostnaderna för fundament troligen kommer att vara högre i praktiken. Geotekniska undersökningar bör genomföras

Anläggande av pumpstation vid Älvsborgsbron (betongstrukturer)

I samband med denna kostnadsbedömning finns inga ritningar för pumpstationer framtagna. Därför har kostnader beräknats i form av enhetskostnader per m¹, baserat på referensprojekt. Bedömda kostnader framgår i nedanstående tabell och inkluderar följande punkter:

- golvplatta
- väggar/pyloner
- TAK
- struktur för vattenintag
- struktur för utflöde

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Pumpstationsbyggnad			Mängd	126.229,64 EUR	14.516.408 EUR
Pumpstationens bredd	115 m ¹	115	Löpmeter	93 100 EUR	10.706.500 EUR
Tillägg för skillnad i 2012 och 2014 års prisnivå	3,5% av totalkostnad			3,5%	374.728 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					11.081.228 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					14.516.408 EUR

Tabell 17. Kostnadsbedömning av anläggning (betongstrukturer).

Kommentarer:

- Kostnadsbedömning inkluderar tillägg
- Styrke- och stabilitetsberäkningar har ej genomförts
- Bibehållande åtgärder inkluderas ej
- Betong och armeringsjärn ingår
- Tillägg måste göras för arkitektur

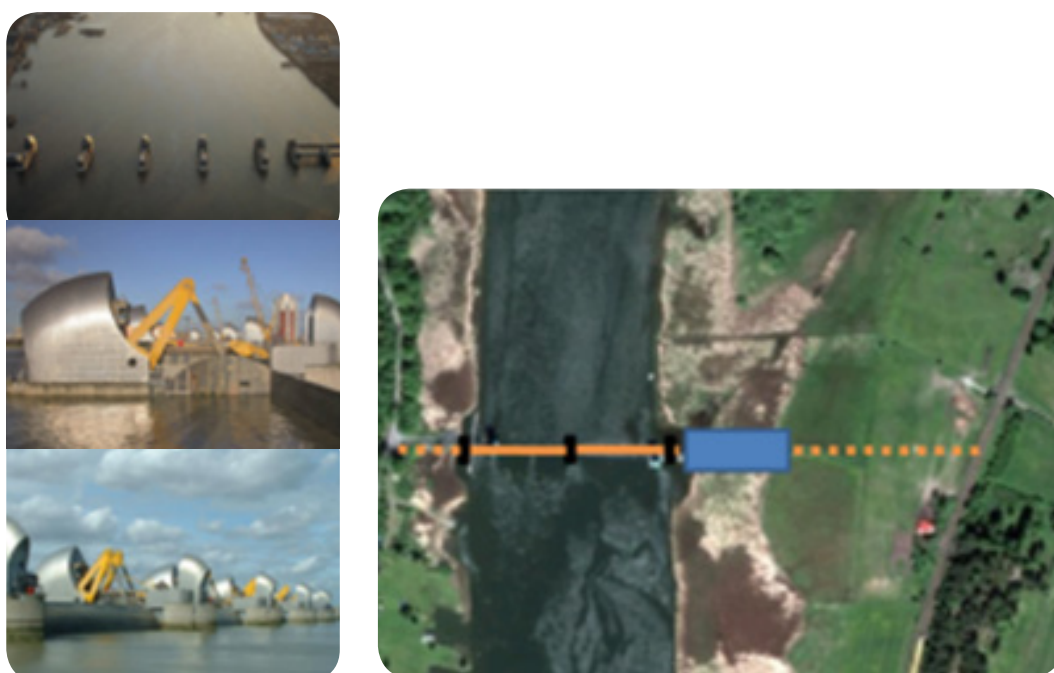
3. Kostnadsbedömning av skyddsport i Nordre älv

Utformning enligt förstudie

Skyddsporten som föreslås för Nordre älvgrenen är lokaliserad vid den befintliga anläggningen Ormoskärmen. I nedanstående figur visas en översikt av skyddsportens föreslagna utformning samt lokalisering.

I samband med en högflödesprognos för höga vattennivåer i Göta älv, stängs skyddsporten. All sjöfart stoppas medan porten är stängd. En pumpstation med erforderlig kapacitet finns belägen intill skyddsporten, i syfte att kontrollera vattennivåerna bakom barriären. Skyddsporten består av två större öppningar med segmentportar nedsänkta i älven.

Kostnadsbedömning på en förstudienivå baseras på bedömda kostnader för huvudprojektet (själva skyddsporten enl. ovanstående figur), fundament samt anläggningsgrop. Dimensioner för föreslaget skyddsportsalternativ presenteras i nedanstående tabell. Mer detaljerade beskrivningar av kostnader för delobjekt framgår i efterföljande kapitel.



Figur 4. Skyddsport utanför Älvsborgsbron.

Parameter	Värde
Antal öppningar	2
Öppningsbredd	60 m
Tröskelhöjd	MW -7 m
Övre nivå vid stängd port	MW +5 m
Skyddsportens totala höjd	12 m
Uppskattad vikt för skyddsport	280 ton
Dämpare	
Pumpkapacitet	533 m ³ /s
Pumpar	22
Pumpstationens bredd	225 m

Tabell 18. Dimensionering av skyddsport i Nordre älvgrenen.

Kostnadsbedömning av skyddsport

Skyddsport

Kostnaderna för skyddsporten är avhängiga skyddsportens vikt, jämförpris per kilo, anläggningsmetod samt den hydraulik som erfordras för att lyfta skyddsporten. Kostnader för anläggningsmetod beror till hög grad på vilken utrustning som finns tillgänglig samt på säsongsvariationer. Kostnader som används i följande bedömning baseras på en anläggningsmetod där en pråm används för att transportera skyddsporten, samt en lyftkran vilken hissar upp skyddsporten till rätt position. I nedanstående tabell presenteras en uppdelad kostnadsbeskrivning för en skyddsport.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Skyddsport		2,0	Mängd	11.010.000 EUR	22.020.000 EUR
Port	1400 ton för respektive port	2.800	Metrisk ton	7.000,00 EUR	19.600.000 EUR
Ballastsystem	1 ballastsystem	1	Mängd	300.000,00 EUR	300.000,00 EUR
Pråm	2 användnings-tillfällen	2	Mängd	100.000 EUR	200.000 EUR
Kran	2 användnings-tillfällen	2	Mängd	250.000, EUR	500.000 EUR
Expertis och personal	2 användnings-tillfällen	2	Mängd	50.000 EUR	100.000 EUR
Hydraulik	1 system per port	2	Mängd	600.000 EUR	1.200.000 EUR
Drift och kontroll	10% av hydraulik-kostnader	10 %		1.200.000 EUR	120.000 EUR
Avrundning					-
Total direktkostnad					22.020.000 EUR
Tillägg					1
Total kostnads-bedömning					22.020.000 EUR

Tabell 19. Kostnadsbedömning av skyddsport.

Uppströms bottenskydd

Uppströms liggande bottenskydd skyddar bottenmiljön mot erodering på den uppströms liggande sidan av pumpstationen. Bottenskyddet anläggs för att motstå strömmar och syftar till att skydda älvbädden mot erodering. Det antas att bottenskyddet utgörs av armerad sten, stensbeläggningar och grus vilket antas köpas in per metriskt ton. Volymen för bottenskyddet samt bedömd kostnad anges nedan.

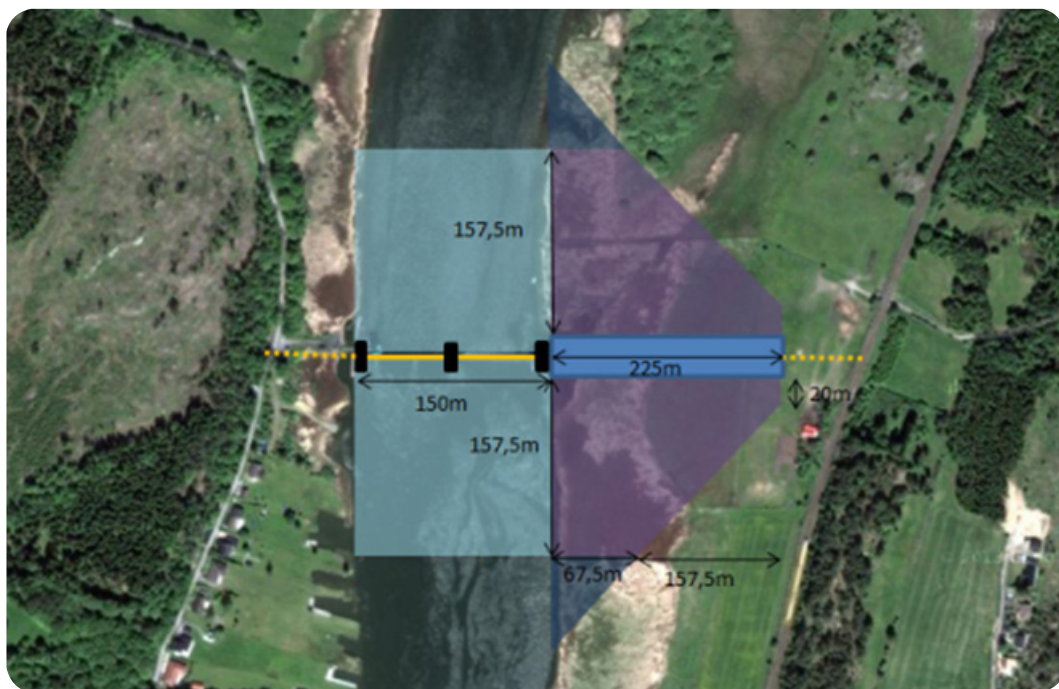
En tumregel, vilken presenteras i formel under kapitel "Uppströms bottenskydd" sid 19, har använts för att bedöma bottenskyddets längd.

Aspekt	Nivå
Tröskelnivå (antas vara samma som bottenivå)	MW -7 m
Normalvattennivå	Referensnivå
Vald vattennivå	Ref + 3,5 m
Maximalt vattendjup	10,5 m

Tabell 20. Vattennivåer och bottenivåer.

Bedömningen är att en längd på 157,5 m är erforderlig baserat på den tumregel som tillämpats, med ett maximalt vattendjup på 10,5 m.

Uppströms och nedströms bottenskydd för pumpstationerna kommer att kopplas samman med motsvarande uppströms och nedströms liggande bottenskydd för själva skyddsporten, enligt nedanstående figur.



Figur 5. Bottenskydd för pumpstationen (lila yta) samt barriär (ljusblå yta), samt andelen oskyddad bottenyta (mörkblå yta).

Bottenskyddets volym beräknas utifrån skyddets längd, bredd och tjocklek. Volymen multipliceras med den volymetriska densiteten för att kunna bedöma antalet metriska ton som erfordras för bottenskyddet. Älvens bredd är ca 150 m. Bottenskyddets tjocklek antas vara ca 1m. Bedömda kostnader presenteras i nedanstående tabell.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Uppströms bottenskydd		1,00	Mängd	3.036.403 EUR	3.036.403 EUR
Uppströms bottenskydd	150x157.5 m ² d=1 Löpmeter	23.625,00	m ³		
	2.650 kg/m ³	62.606.25	Metriska ton	48,50 EUR	3.036.403 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					3.036.403 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					3.036.403 EUR

Tabell 21. Kostnadsbedömning för uppströms bottenskydd.

Kommentarer:

- Kostnadsbedömningen inkluderar tillägg
- Kostnadsbedömningen exkluderar blockeringsmattor och motsvarande åtgärder för bottenskydd

Nedströms bottenskydd

Vattendjupet vid det nedströms liggande bottenskyddet (bredd samt tjocklek) motsvarar vattendjupet vid det uppströms liggande bottenskyddet, varför även de bedömda kostnaderna antas vara jämförbara. Kostnader för det nedströms liggande bottenskyddet presenteras i nedanstående tabell.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Uppströms bottenskydd		1,00	Mängd	3.036.403 EUR	3.036.403 EUR
Uppströms bottenskydd	150x157.5 m ² d=1 löpmeter	23.625,00	m ³		
	2.650 kg/m ³	62.606.25	Metrisk ton	48,50 EUR	3.036.403 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					3.036.403 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					3.036.403 EUR

Tabell 22. Kostnadsbedömning för anläggningsarbete.

Kommentarer:

- Kostnadsbedömning inkluderar tillägg
- Kostnadsbedömningen exkluderar blockeringsmattor och motsvarande åtgärder för bottenskydd

Läckageskydd

Ett grundvattenflöde under, eller längs med, skyddsportstrukturen kan uppstå då en viss trycknivå över strukturen råder, och läckageavståndet är för litet. För att kunna täppa igen läckaget under strukturen, behöver ett läckageskydd i form av en skärm, spont eller betongvägg anläggas.

Avskärande skärmar för läckageskydd eller spont tas ej med anledning av den stora osäkerheten gällande markegenskaperna i området. Kostnader för filterlösningar inkluderas i kostnader för nedströms liggande bottenskydd.

Anläggningsarbete (betongstrukturer)

Bedömd kostnad för över- och underliggande strukturer relateras till mängden betong som erfordras för skyddsporten, vilket presenteras i nedanstående tabell.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Under- och överstrukturer		17.995,25	m ³	700,00 EUR	12.597.375 EUR
Bottenplatta	35 m x 17 m x 5 m. 2 massiva bottnar	10.200,00	m ³		
Pyloner	35 m x 8 m x 13,5 m 3 pyloner 70% betong och 30% kaviteter	7.796,25	m ³		
Total volym betong		17.996,25	m ³		
Avrundning					
Total direktkostnad					12.597.375 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					12.597.375 EUR

Tabell 21. Kostnadsbedömning för uppströms bottenskydd.

Kommentarer:

- Kostnadsbedömning inkluderar tillägg

Anläggningsgrop

En anläggningsgrop bör skapas vid anläggandet av skyddsporten. En kostnadsbedömning för anläggningsgrop har gjorts, vilken baserat på expertbedömning. Kostnaderna har bedömts för en anläggningsgrop för skyddsport samt pumpstation utanför i Nordre älvgrenen. Anläggningsgropen antas komma att konstrueras med spontpålar, två stödnivåer samt undervattensbetong. Kostnaderna framgår i nedanstående tabell.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Anläggningsgrop		1	Mängd	6.090.000 EUR	6.090.000 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					6.090.000 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					6.090.000 EUR

Tabell 24. Kostnadsbedömning för anläggningsgrop.

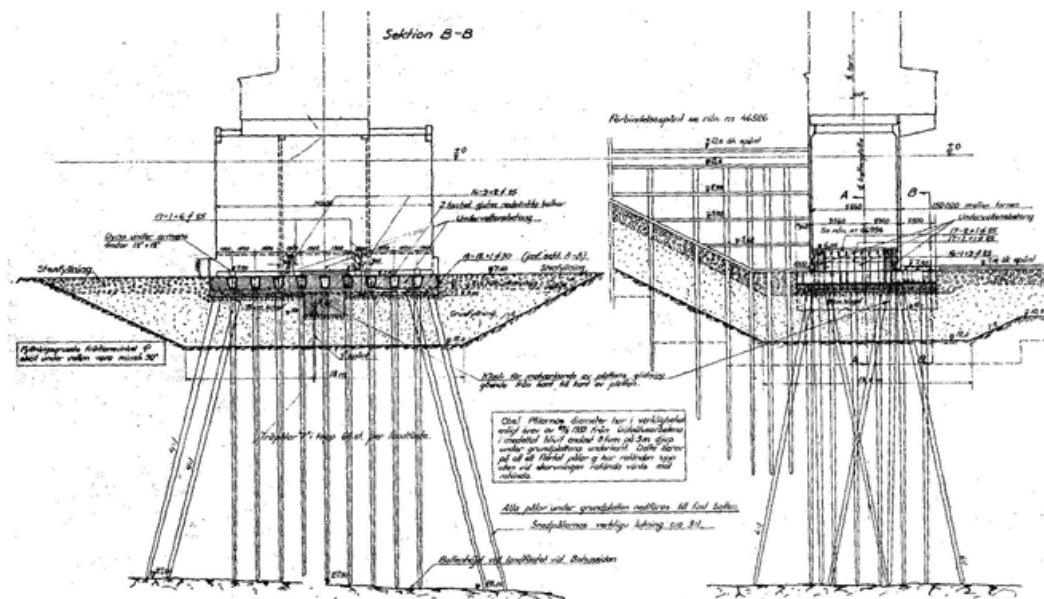
Kommentarer:

- Kostnadsbedömningen inkluderar tillägg
- Styrke- och stabilitetsberäkningar har ej genomförts
- Bibehållande åtgärder räknas ej in
- Undervattensbetong tas med i beräkningarna
- Det råder i dagsläget stor osäkerhet gällande geotekniska förhållanden i området (ex. mäktighet ned till bergrund osv.), varför kostnaderna för fundament troligen kommer att vara högre i praktiken.

Fundament

Marklagret vid Ormoskärmen består av lösa jordlager ovanliggandes bergrund. Ormoskärmen är i dagsläget grundlagd på träpålar, vilket framstår i nedanstående figur. Djup till berg vid den aktuella platsen är enligt uppgift MW -27 m.

Ett rörformat stålpålsfundament föreslås anläggas i ett 4x4 nätmönster. Pålarna fylls med betong och armeringsjärn. Berggrunden är uppskattningsvis ca 30 m, vilket kräver ca 30 m långa pålar. Fundamentplattans area bör vara 60 x 17 för respektive tröskel och 38 x 8 m för respektive pylon.



Figur 6. Ritning för fundament vid den befintliga anläggningen Ormoskärmen.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Över- och understruktur		185	Enheter	22.044,00 EUR	4.067.147 EUR
Rörformade stålplålar, d=950 mm	Tröskel 60 m x 17 m 2 trösklar Pylon 38 m x 8 m 3 pyloner	2.952,00	m ²		
Galler		4 x 4	m ²		-
Längd		30	m ²		-
Avrundning					
Total direktkostnad					4.067.147 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					4.067.147 EUR

Tabell 25. Kostnadsbedömning av fundament.

Kommentarer:

- Kostnadsbedömningen inkluderar tillägg
- Det råder i dagsläget stor osäkerhet gällande geotekniska förhållanden i området (ex. mäktighet ned till berggrund osv.), varför kostnaderna för fundament troligen kommer att vara högre i praktiken. Geotekniska undersökningar bör genomföras

Kostnadsbedömninga av pumpstation

Uppströms bottenskydd

Uppströms liggande bottenskydd skyddar bottenmiljön vid vattenintaget mot erosion på den uppströms liggande sidan av pumpstationen. Bottenskyddet anläggs för att motstå strömmar och syftar till att skydda älvbädden mot erosion. Det antas att bottenskyddet utgörs av armerad sten, stensbeläggningar och grus vilket antas köpas in per metriskt ton. Volymen för bottenskyddet samt bedömd kostnad anges nedan.

En tumregel, vilken presenteras i formel under kapitel "Uppströms bottenskydd" sid 19, har använts för att bedöma bottenskyddets längd.

Aspekt	Nivå
Tröskelnivå (antas vara samma som Göteborgsgrenens bottennivå)	MW -7 m
Normalvattennivå	Referensnivå
Vald vattennivå	Ref + 3,5 m
Maximalt vattendjup	10,5 m

Tabell 20. Vattennivåer och bottennivåer.

Bedömningen är att en längd på 157,5 m är erforderlig baserat på den tumregel som tillämpats, med ett maximalt vattendjup på 10,5 m.

Uppströms och nedströms bottenskydd för pumpstationerna kommer att kopplas samman med motsvarande uppströms och nedströms liggande bottenskydd för själva skyddsporten, enligt nedanstående figur.

Bottenskyddets volym kan beräknas utifrån bottenskyddets längd, bredd och tjocklek. Volymen multipliceras med den volymetriska densiteten i syfte att bedöma antal ton betong som erfordras för bottenskyddet. Kanalens dimensioner framgår i nedanstående tabell. Bottenskyddets tjocklek bedöms behöva vara ca 1 m. En kostnadsbedömning av det uppströms liggande bottenskyddet anges i tabell 27.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Uppströms bottenskydd		1,00	Mängd	3.306.350 EUR	3.306.350 EUR
Uppströms bottenskydd	137,5 x 67.5 m ² , 225 x 20 m ² 0,5 x 157.5 x 157.5 m ² d= 1 Löpmeter	26.184,38	m ³		
	2.700 kg/m ³ p _{cavity} =38%	69.388,60	Metrisk ton	48,50 EUR	3.360.350 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					3.360.350 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					3.360.350 EUR

Tabell 27. Kostnadsbedömning av uppströms liggande bottenskydd.

Kommentarer:

- Kostnadsbedömningen inkluderar tillägg
- Kostnadsbedömningen exkluderar blockeringsmattor och motsvarande åtgärder för bottenskydd

Nedströms bottenskydd

Vattendjupet vid det nedströms liggande bottenskyddet (bredd samt tjocklek) motsvarar vattendjupet vid det uppströms liggande bottenskyddet, varför även de bedömda kostnaderna antas vara jämförbara. Kostnader för det nedströms liggande bottenskyddet presenteras i nedanstående tabell.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Uppströms bottenskydd		1,00	Mängd	3.306.350 EUR	3.306.350 EUR
Uppströms bottenskydd	137,5 x 67.5 m ² , 225 x 20 m ² 0,5 x 157.5 x 157.5 m ² d=1 Löpmeter	26.184,38	m ³		
	2.700 kg/m ³ p _{cavity} =38%	69.388,60	Metrisk ton	48,50 EUR	3.360.350 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					3.360.350 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					3.360.350 EUR

Tabell 28. Kostnadsbedömning av nedströms liggande bottenskydd.

Kommentarer:

- Kostnadsbedömningen inkluderar tillägg
- Kostnadsbedömningen exkluderar blockeringsmattor och motsvarande åtgärder för bottenskydd

Markarbete för anläggande av kanal uppströms och nedströms pumpstationen

För att kunna anlägga en kanal upp- och nedströms pumpstationen måste markarbete genomföras (utgrävning och bortförsel av jordmassor). För att kunna kostnadsbedöma markarbetet behöver en uppskattning göras av mängd jord som behöver hanteras. Bedömd markyta som berörs av markarbetet framgår i nedanstående Figur 5, och motsvarar arean för bottenskydd samt andelen oskyddad botten. Volymen beräknas genom att multiplicera arean med djupet jordlager som behöver grävas ut. Detta jorddjup beräknas utifrån nuvarande marknivå och nivån som föreslås för bottenskydd.

Vattennivå, bottennivå samt maximalt vattendjup i Nordre älvgrenen presenteras i nedanstående tabell. Jämförpriset baseras på ett referensprojekt för vilket kostnader har angetts för 2012 års prisnivå.

Aspekt	Nivå
Kanalens djup	MW -7 m
Bottenskyddets tjocklek	1 m
Grävdjup	MW -8 m
Nuvarande ytnivå (uppskattning)	MW + 2 m
Normalvattennivå	MW
Utgrävningsdjup	10 m

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Uppströms markarbete		1,00	Mängd		401.127 EUR
Uppströms markarbete	20 x 225 m ² , 0.5 x 225 x 225 m ² d=8m	29.813,00	m ³	6,50 EUR	193.781 EUR
Nedströms markarbete	20 x 225 m ² , 0.5 x 225 x 225 m ² d=8m	29.813,00	m ³	6,50 EUR	193.781 EUR
Tillägg för skillnad i 2014 och 2015 års prisnivå	3,5 % av totalkostnaden			3,5 %	13.565 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					401.127 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					401.127 EUR

Tabell 29. Kostnadsbedömning av markarbeten.

Kommentarer:

- Kostnadsbedömning inkluderar tillägg
- Transport av jordmassor ingår ej i beräkningen

Läckageskydd och spont

Skärmar för avskärande läckageskydd samt spont har ej tagits med i utformningsförslaget map. den stora osäkerheten gällande markförhållanden. För att förhindra erodering nedströms pga. ledningsanläggning, föreslås en filterlösning att ingå. Kostnader för filter inkluderas i kostnadsbedömningen.

Fördämning

Då det bedöms finnas en tillräcklig yta tillgänglig för en släntlutning behöver spontpålar ej tillämpas. Släntskydd samt utgrävningskostnader ingår i kostnadsbedömningen för uppströms och nedströms liggande bottenskydd och markarbeten.

Pumpar, elektriska komponenter, drift och kontrollenheter

Enligt Tabell 18 behöver 22 st. pumpar installeras i pumpstationen. Pumparna bör ha en kapacitet på 25 m³/s och ett utflödestrycknivå på 3,25 m (skillnaden mellan vald vald havsvattennivå och normalvattennivå för Nordre älvgrenen). Kostnader för pumpar, elektriska komponenter samt drift- och kontrollenheter framgår i nedanstående tabell. Kostnaderna baseras på ett referensprojekt med 2012 års prisnivå.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Pumpar, elektriska komponenter, drift och kontrollenheter		1,00	Mängd		17.112.680 EUR
Pump	25 m ³ /s, $\Delta H=3.25$	22	Mängd	551.859 EUR	12.140.898 EUR
Växel, motor etc.	25 m ³ /s, $\Delta H=3.25$	22	Mängd	110,822 EUR	2.438.084 EUR
SCADA*		1	Mängd	820.000 EUR	820.000 EUR
Montering och test		1	Mängd	410.000 EUR	410.000 EUR
Tillägg för skillnad i 2012 och 2014 års prisnivå	3,5 % av totalkostnaden			3,5 %	553.314 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					16.362.296 EUR
Tillägg					1,31
Totalkostnad exkl. moms					21.434.608 EUR

* "Supervisory Control And Data And Acquisition"

Tabell 30. Kostnadsbedömning av pumpar, elektriska komponenter, drift och kontroll.

Kommentarer:

- Kostnadsbedömning inkluderar tillägg

Reservkraftförsörjning

Bedömd kostnad för reservkraftförsörjning avser 22 nödgeneratorer vilka då kan producera reservkraft för 22 pumpar ($7 \times 25 = 175 \text{ m}^3/\text{s}$). Den totala kostnadsbedömningen framgår i nedanstående tabell.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Reservkraftförsörjning		1,00	Mängd		8.085.000 EUR
Generator	20.000kVA	22	Mängd	350.000 EUR	7.700.000 EUR
Bränsletank	40 m ³	1	Mängd	80.000 EUR	80.000 EUR
Kontrollenhet		1	Mängd	10.000 EUR	10.000 EUR
Kablar		2000	m ¹	30 EUR	60.000 EUR
Kretsbrytare		22	Mängd	10.000 EUR	220.000 EUR
Montering		1	Mängd	60.000 EUR	60.000 EUR
Kylsystem, rörläggning etc.		1	Mängd	50.000 EUR	50.000 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					8.085.000 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					8.180.000 EUR

Tabell 31. Kostnadsbedömning av reservkraftförsörjning.

Kommentarer:

- Kostnadsbedömning inkluderar tillägg
- Kostnadsbedömningen exkluderar
 - byggnad
 - byggnadsfundament
 - ventilationssystem
- Pumpar är ej frekvensdrivna
- Icke-bromssystem tillämpas ej
- Spänning under installation tas ej i beaktande
- Kostnader är avhängig driften av E-motorer samt erforderlig elförsörjning baserat på typen av drift (mjukstartare, frekvenskonverterare osv.); Kostnader som presenteras baseras på ett "mjukstartat system" vilket ofta är mest fördelaktigt (elbehovet motsvarar 1,7 gånger nominalbehovet vid pumpning). Elbehovet kan öka signifikant (erforderligt elbehov kan vara 6-7 gånger nominalbehovet för pumpning vid tillämpning på ex. ett direkt drivsystem).

Anläggningsgrop

En anläggningsgrop måste skapas i samband med anläggande av skyddsporten. Kostnadsbedömningen för anläggningsgropen baseras på expertutlåtanden, och är generellt jämförbara med bedömningen för skyddsportens anläggningsgrop. Kostnader för anläggningsgropen motsvarar bedömd kostnad för den anläggningsgrop som föreslås för själva skyddsporten. Skyddsporten måste anläggas så att den kan motstå belastning från yttre krafter, och för att motverka deformation. Pumpstationen kan anläggas genom att utnyttja marklagrets förutsättningar alternativt genom fundament som pålas ned i berggrunden.

Ett fundament som baseras på externa krafter är känsligare för deformation jämfört med ett pålat fundament. Därför föreslås tillämpning av ett pålat fundament med rörformade stålplålar, vilka anläggs i ett 4x4 m nät. Plålarerna fylls då med betong och armeringsjärn. Berggrunden bedöms ligga på ca 100 m djup, vilket resulterar i ca 100 m långa plålar. Ytan för fundamentplattan är ca 115 x 60 meter och fundamentplattorna för tröskelstrukturerna är 50 x 24 m vardera. Kostnaderna för fundamenten redovisas i nedanstående tabell.

Fundament

Marklagret vid Ormoskärmen består av lösa jordlager ovanliggandes berggrund. Ormoskärmen är i dagsläget grundlagd på träplålar. Djup till berg vid den aktuella platsen är enligt uppgift MW -27 m.

Ett rörformat stålplålsfundament föreslås anläggas i ett 4x4 m nätmönster. Plålarerna fylls med betong och armeringsjärn. Djupet till berggrunden är uppskattningsvis ca 30 m, vilket kräver ca 30 m långa plålar. Fundamentplattans area bör vara 60 x 225 m.

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Över- och understruktur		844	Enheter	22.044,00 EUR	18.599.757 EUR
Rörormade stålplålar, d=950 mm	Tröskel 60 m x 17 m 2 trösklar Pyloner 38 x 8 m 3 pyloner	13.500,00	m ²		-
Galler		4 x 4	m ²		-
Längd		30	m		-
Avrundning					
Total direktkostnad					18.599.288 EUR
Tillägg					1,00
Totalkostnad exkl. moms					18.599.288 EUR

Tabell 32. Kostnadsbedömning av fundament

Kommentarer:

- Kostnadsbedömningen inkluderar tillägg
- Det råder i dagsläget stor osäkerhet gällande geotekniska förhållanden i området (ex. mäktighet ned till berggrund osv.), varför kostnaderna för fundament troligen kommer att vara högre i praktiken. Geotekniska undersökningar bör genomföras

Anläggande av pumpstation vid Älvsborgsbron (betongstrukturer)

I samband med denna kostnadsbedömning finns inga ritningar för pumpstationer framtagna. Därför har kostnader beräknats i form av enhetskostnader per längdmeter, baserat på referensprojekt. Bedömda kostnader framgår i nedanstående tabell och inkluderar följande punkter:

- golvplatta
- väggar/pyloner
- tak
- struktur för vattenintag
- struktur för utflöde

Objekt	Specifikation	Enhet	Dimension	Enhetskostnad	Totalkostnad
Pumpstationsbyggnad			Mängd	1 18.636,000 EUR	26.693.297 EUR
Pumpstationens bredd	225 Längdmeter	225	Längdmeter	87.500 EUR	19.687.500 EUR
Tillägg för skillnad i 2012 och 2014 års prisnivå	3,5% av totalkostnad			3,5%	689.063 EUR
Avrundning					
Total direktkostnad					20.376.563 EUR
Tillägg					1,31
Totalkostnad exkl. moms					26.693.297 EUR

Tabell 33. Kostnadsbedömning av anläggning (betongstrukturer).

Kommentarer:

- Kostnadsbedömning inkluderar tillägg
- Styrke- och stabilitetsberäkningar har ej genomförts
- Bibehållande åtgärder inkluderas ej
- Betong och armeringsjärn ingår
- Tillägg måste göras för arkitektur

4. Kostnader för underhåll och personal

Kostnader för underhåll

Ett visst underhållsarbete krävs för att garantera en robust funktion hos såväl skyddsportar som pumpstationer. Utan ett tillräckligt underhåll, bedöms reliabiliteten och tillgängligheten för portarna och pumpstationerna bli alltför låg. Kostnadsbedömning för underhållsarbete (årsbaserade kostnader) baseras på befintliga referensprojekt i Nederländerna. Kostnaderna har bedömts utifrån procentsats av realiseringskostnader enligt följande:

- Komponenter för strukturer och hydroteknik
 - 1 % av direktkostnaden
- Mekaniska komponenter
 - 3 % av direktkostnaden
- Elektriska/elektrotekniska komponenter
 - 5 % av direktkostnaderna
- Driftkostnader har exkluderats

	Medelvärde	Nedre gräns	Övre gräns
Älvsborgsbron			
Skyddsport	3,4	2,4	5,1
Pumpstation	2,1	1,5	3,2
Nordre älv			
Skyddsport	1,9	1,3	2,8
Pumpstation	3,2	2,3	4,9
Totalsumma	10,6	7,5	16,0

Tabell 34. Årskostnader för underhåll (miljoner Euro).

Personal

Bedömning av personalbehov för skötsel/drift av skyddsportarna baseras på referensprojekt från Nederländerna. För skyddsportarna i Göteborg har en bedömning gjorts enligt följande:

- 5 personer, vilka lokaliseras i en centralt belägen drift- och kontrollanläggning, ansvarar för att sköta båda skyddsportsanläggningarna.
- Totalt 20-30 personer bör utbildas för att kunna sköta skyddsportarna (deltidsansvar).
- Underhållspersonal bör läggas till ovanstående personalstyrka

Bilaga 10

Numerisk modellering av konsekvenser i Göta älv
och kustvattnet



Sweco Environment AB

Rapport

Januari 2015

Detta dokument har tagits fram inom ramen för DHI:s Business Management System certifierat av DNV enligt ISO 9001 (Kvalitetssystem)



DNV GL BUSINESS ASSURANCE DENMARK A/S

Bilaga 10

Numerisk modellering av konsekvenser i Göta älv och kustvattnet

Framtagen för Sweco Environment AB
Kontaktperson Mats Andréasson



Foto: Göteborgs Hamn

Projektledare	Anna Karlsson
Kvalitetsansvarig	Olof Liungman
Projekt nummer	12802774
Datum	2015-02-02
Version	Version 1.1
Klassificering	

INNEHÅLL

1	Inledning	1
2	Uppdraget	1
3	Hydrodynamisk modell	2
3.1	Modelluppsättning	2
3.2	Drivning	3
3.2.1	Meteorologi	3
3.2.2	Hydrografi	3
3.2.3	Göta älv, Sävån och Mölndalsån	4
3.3	Avgränsningar	4
4	Scenarier	5
5	Resultat	7
5.1	Scenario Gudrun 2005	7
5.2	Scenario Gudrun 2150b	9
5.3	Scenario 2150b med skyddsportar	10
5.4	Scenario 2150b med skyddsportar och pumpar	12
5.5	Generella resultat	12
6	Slutsatser	15
7	Referenser	17

FIGURER

Figur 3-1. Modellens totala omfattning. Djupskala relativt RH2000.	3
Figur 3-2. Flödet i Göta älv och Mölndalsån/Sävån under Gudrun.	4
Figur 4-1. Exempel på höga vattenstånd i Göteborg, från figur 2, ref. /1/.	5
Figur 4-2. Schematisk beskrivning av skyddsporten vid Nya Varvet i modellen. Heldragen lila linje visar tät konstruktion. Streckad lila linje visar läget för den öppningsbara delen av porten.	6
Figur 5-1. Jämförelse mellan uppmätt havsnivå vid Torshamnen och modellerad nivå.	7
Figur 5-2. Tappning i Lilla Edet under Gudrun och modellerade flöden i olika delar av älven.	8
Figur 5-3. Modellberäknade vattennivåer i Göta älv och Nordre älv.	9
Figur 5-4. Jämförelse mellan uppmätt havsnivå vid Torshamnen 2005 och modellerad nivå scenario 2150b.	9
Figur 5-5. Tappning i Lilla Edet under Gudrun scenario 2150b och modellerade flöden i olika delar av älven.	10
Figur 5-6. Modellberäknade vattennivåer i Göta älv och Nordre älv för scenario 2150 b.	10
Figur 5-7. Tappning i Lilla Edet under Gudrun, anpassad tappning till stängda portar och modellerade flöden i olika delar av älven kopplade till den anpassade tappningen. Gula markeringar visar tidsperioderna då portarna stängs och öppnas.	11
Figur 5-8. Modellberäknade vattennivåer i Göta älv och Nordre älv för scenario 2150 b med portar Gula markeringar visar tidsperioderna då portarna stängs och öppnas.	11

Figur 5-9. Modellberäknade vattennivåer i Göta älv och Nordre älv för scenario 2150 b med portar och pumpar. Gula markeringar visar tidsperioderna då portarna stängs och öppnas.	12
Figur 5-10. Saltkilens läge och salthalter från Torshammen till Lärjeholm kl. 00 den 8/1 med och utan öppna portar.	13
Figur 5-11. Saltkilens läge och salthalter från Torshammen till Lärjeholm kl. 09 den 9/1, överst utan portar och underst med stängda portar.	13
Figur 5-12. Saltkilens läge och salthalter från Torshammen till Lärjeholm kl. 22 den 9/1, överst utan portar och underst med stängda portar.	14

1 Inledning

I ett framtida klimat med stigande medelvattennivå i havet behöver Göteborgs stad utveckla sina skydd mot översvämningar. DHI ingår i en projektgrupp (Sweco, Arcadis, SMHI och DHI) som under Sweco's ledning skall ta fram en översiktlig beskrivning av hur de yttre skydden utanför Älvsborgsbron och i Nordre älv kan utformas.

Denna rapport omfattar en option till förstudien. Ursprungligen innebar optionen att redovisa hur man översiktligt kan analysera och beskriva konsekvenserna nedströms i Nordre älv då hela Göta älvs flöde helt eller delvis avleds via denna förgrening. Inledningsvis studerades möjligheten att anlägga en port vid Jordfallsbron och en utanför Älvsborgsbron. I takt med att förstudien fortskred stod det dock klart att en alternativ utformning med en port i Nordre älv tillsammans med den utanför Älvsborgsbron var ett lämpligare alternativ.

I denna rapport redovisar vi därför hur man kan analysera och beskriva konsekvenserna av två skyddssportar, i hela Göta älv nedströms Lilla Edet samt kustvattnet utanför älvmyningarna. Alla antaganden i rapporten om framtida regleringar och utformningar är gjorda för att exemplifiera systemets respons på åtgärderna. De utgör inga rekommendationer eller optimerade lösningar.

2 Uppdraget

För att kunna studera effekter av skyddssportar och höga havsnivåer i Göteborg har DHI använt en befintlig validerad tredimensionell hydrodynamisk modell för kustvattnet och byggt ut denna för att täcka in Göta älv nedströms Nödinge. Utifrån de diskussioner som förts inom projektgruppen har modellen använts för att simulera förhållandena då skyddsportarna stängs och öppnas. Följande antogs:

- Stormen Gudrun i januari 2005 används som huvudscenari och exempel på ett dynamiskt förlopp.
- Skyddsporten i Nordre älv ligger i höjd med Ormoskärmen.
- Skyddsporten utanför Älvsborgsbron ligger mellan Rya Nabbe och Nya Varvet/Vita Gaveln.
- Framtida medelvattennivå antogs från SMHI:s PM (ref /1/). För 2150 antas en global medelvattnenhöjning på 1.5 m vilket motsvarar ca +1.1 m medräknat landhöjning i Göteborg. Scenariot benämns 2150b.

3 Hydrodynamisk modell

3.1 Modelluppsättning

Den hydrodynamiska modellen täcker in ett område från Marstrand i norr till Onsala i söder och västerut till djup på omkring 50-70 m, se Figur 3-1. Modellen täcker även Göta Älv (inklusive Nordre älv och Göteborgsgrejen) upp till Älvängen. I älven är modellens beräkningsnät mycket högupplöst för att på ett bra sätt kunna beskriva strömningen i älvfåran.

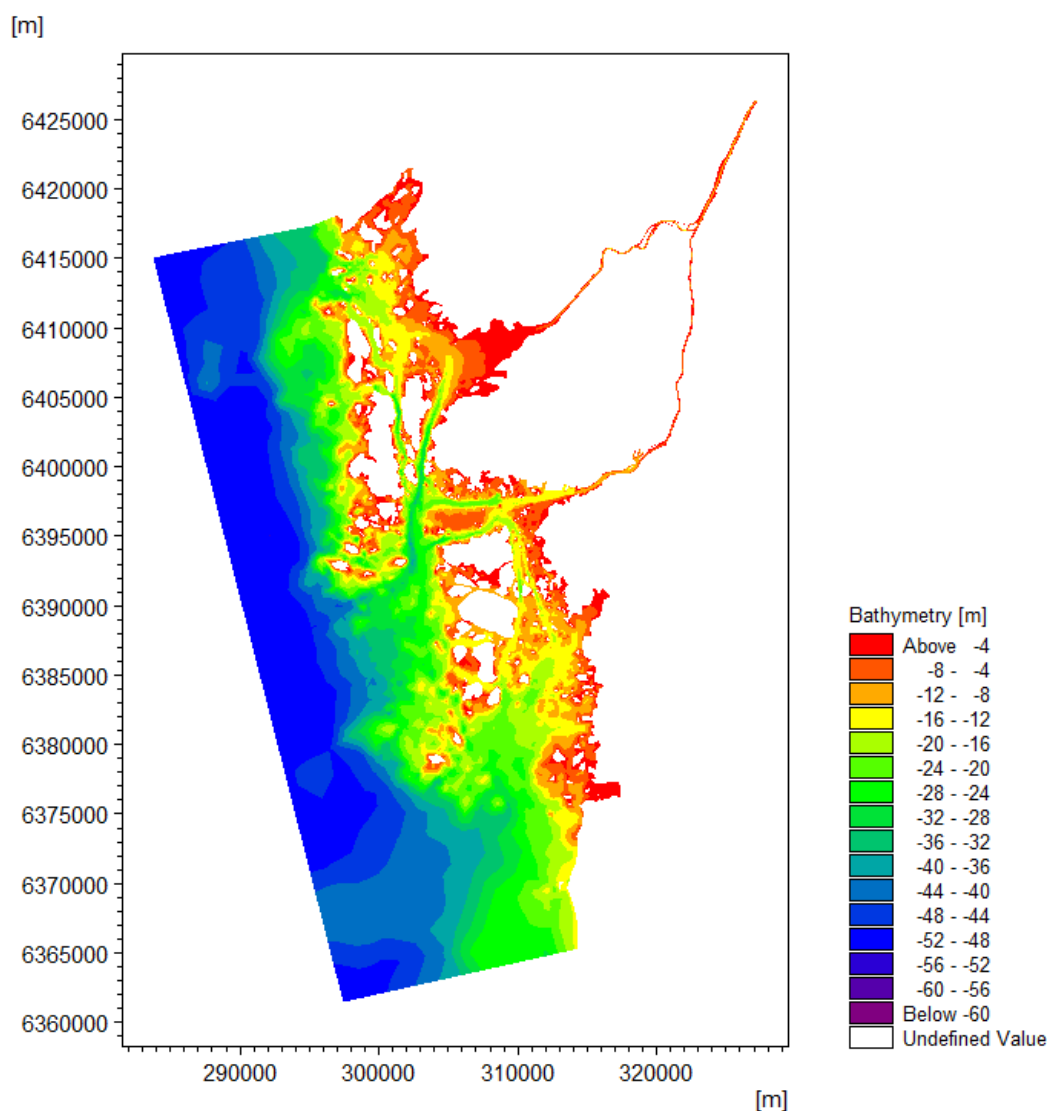
Modellen är relativt stor. Detta beror på att vattnets rörelser inomskärs är beroende av vad som sker i havet utanför och hur vattnet strömmar runt norra och södra skärgården. En annan orsak till modellens utbredning är att den skall passa till de regionala prognosmodeller som DHI kör operationellt och som kan generera randvillkor på de öppna gränserna mot hav i modellen.

De djupdata som ligger till grund för beskrivningen av modellen är:

- Sjökortdata
- Detaljerad djupdata för Göta älv
- Högupplöst djupdata från Sjöfartsverket i farleder och sund.

Modellen beräknar strömmar, vattenstånd, salthalt och temperatur i området i ett beräkningsnät som på ett detaljerat sätt beskriver djup och strandlinje. I beräkningsnätet delas vattenvolymen upp i beräkningsceller. Dessa celler kan vara rektangulära eller triangulära sett från ovan och skiljer sig åt i storlek. Som exempel är upplösningen i farleden in till Torshamnen (rektangulära cellerna) ca 100m×70m och i Göta älv ca 20m×20m. Varje cell är ca 1 m tjock utom i de översta 2 metrarna som beskrivs av 3 celler där celltjockleken varierar med vattenståndet. Cellerna är 1 m tjocka vid vattennivån +1m i RH2000.

Ju mindre cellerna är desto mer högupplöst är modellen och desto mer detaljerat kan man beräkna strömningsmönstret. Beräkningscellernas storlek begränsas dock av datorernas beräkningskapacitet vilket innebär att en avvägning gjorts mellan nödvändig detaljeringsgrad och tid för att genomföra beräkningarna.



Figur 3-1. Modellens totala omfattning. Djupskala relativt RH2000.

3.2 Drivning

För stormen Gudrun år 2005 finns modellberäknad vind och hydrografi som använts för att driva modellen.

3.2.1 Meteorologi

Modellen drivs av modellberäknad vind från Vejr2. Då den hydrodynamiska modellen täcker in ett relativt stort område behöver den drivas av data som varierar både i tid och i rum för att så långt som möjligt efterlikna verkligheten.

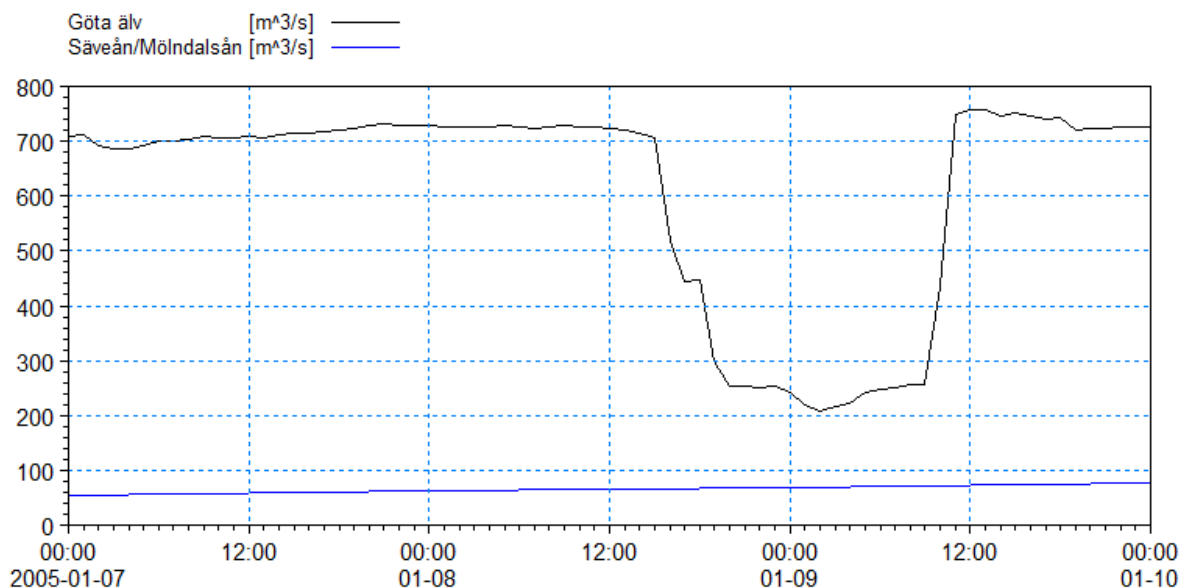
3.2.2 Hydrografi

DHI har operationella modeller som beräknar hydrografi (strömmar, vattenstånd, etc.) över hela världen. En regional modell för Östersjön, Öresund och Bälten, Kattegatt och Skagerak ger två gånger per dygn, året runt, prognoser av strömmar för några dagar

framåt i tiden. Denna modell från 2005 användes för att leverera randvillkor till modellen för Göteborgsområdet.

3.2.3 Göta älv, Säveån och Mölndalsån

För stormen Gudrun har Vattenfall levererat timvärden på tappningen i Lilla Edet. Dessa data driver älvflödet i modellen. SMHI har levererat motsvarande data på dygnsbasis för Säveån och Mölndalsåns utlopp i Göteborgsgrenen vid Tingstadstunneln. I Figur 3-2 visas flödena den 7-10/1 2005.



Figur 3-2. Flödet i Göta älv och Mölndalsån/Säveån under stormen Gudrun.

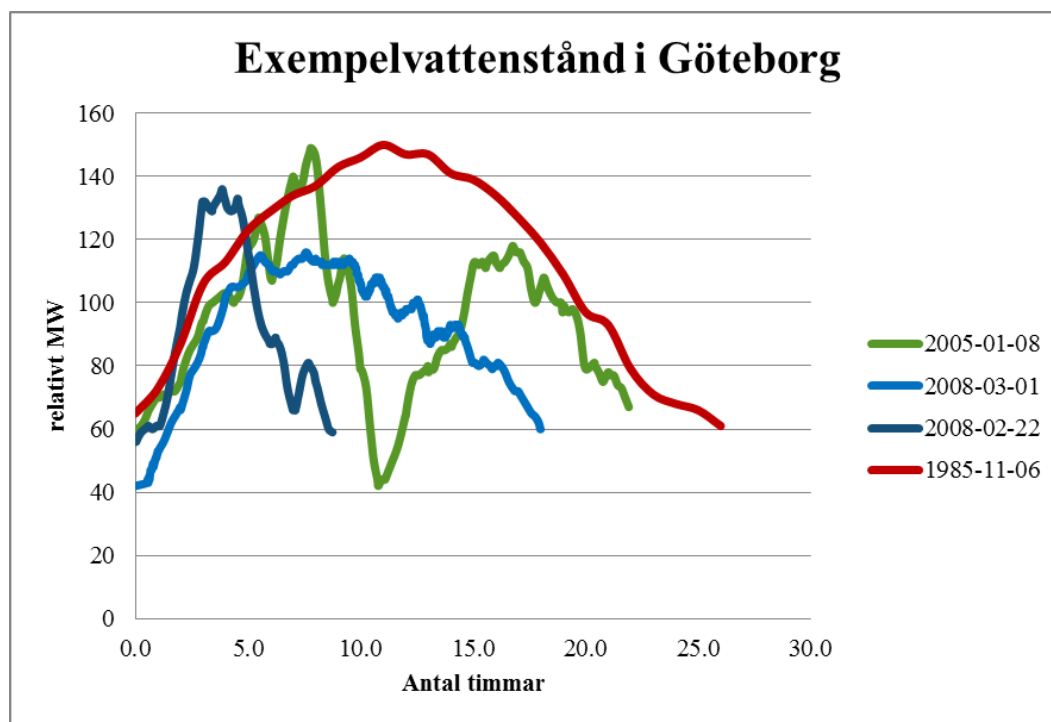
3.3 Avgränsningar

Modellen är anpassad för att översiktligt beskriva effekter som uppstår i samband med användningen av skyddsportar som en del av förstudien. Vi har därför gjort vissa förenklingar som innebär att:

- Ormoskärmens funktion finns inte med i modellen. Detta är av liten betydelse för resultaten från modellen då Ormoskärmens primära funktion är att vid låga flöden i Göta älv styra en större del av flödet via Göteborgsgrenen för att säkerställa råvattenförsörjningen i Lärjeholm.
- Modellen visar inte översvämningsytor då den enbart omfattar vattenområden men inte låglänt land. Detta innebär att modellens framräknade vattennivåer i älven kan vara överskattningar vid havsnivåer över ca +0.5 m rel. RH2000.

4 Scenarier

För att få en bra uppfattning om dynamiken i vattenrörelserna under en storm valdes Gudrun ut som representativt fall för att studera effekten av skyddsportar, se Figur 4-1.



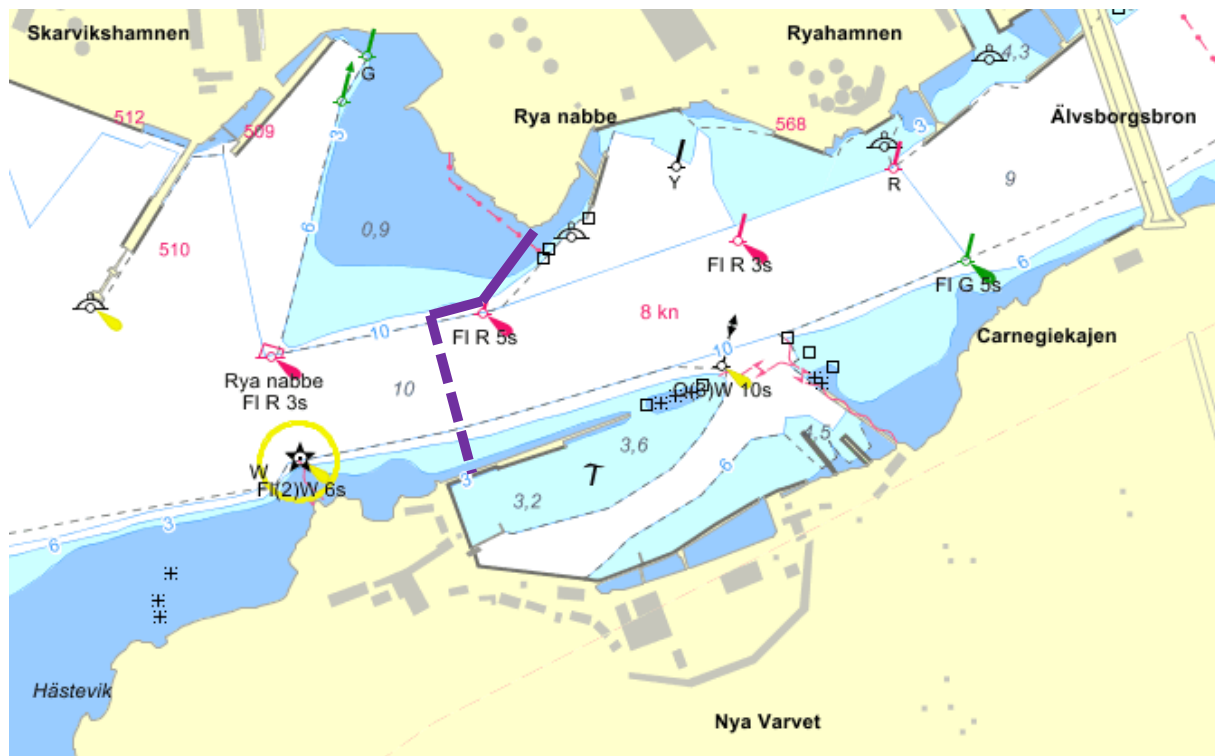
Figur 4-1. Exempel på höga vattenstånd i Göteborg, från figur 2, ref. /1/.

Modellen har körts för totalt fyra olika simuleringsfall:

1. Gudrun 2005
2. Gudrun 2150b
3. Gudrun 2150b med portar
4. Gudrun 2150b med portar och pumpar

Scenariot Gudrun 2005 och Gudrun 2150b modelleras för att få fram referensfall. Därmed kan vi analysera och beskriva vad som händer rent hydrografiskt då förutsättningarna ändras i de övriga fallen.

I Figur 4-2 illustreras hur skyddsporten vid Nya Varvet är inlagd i modellen. Porten består av en fast del där inget vatten flödar oavsett om porten är öppen eller stängd och en del som kan öppnas och stängas vid behov. Porten i Nordre älv ligger i modellen tvärs över älven vid Ormo.



Figur 4-2. Schematisk beskrivning av skyddsporten vid Nya Varvet i modellen. Heldragen lila linje visar tät konstruktion. Streckad lila linje visar läget för den öppningsbara delen av porten.

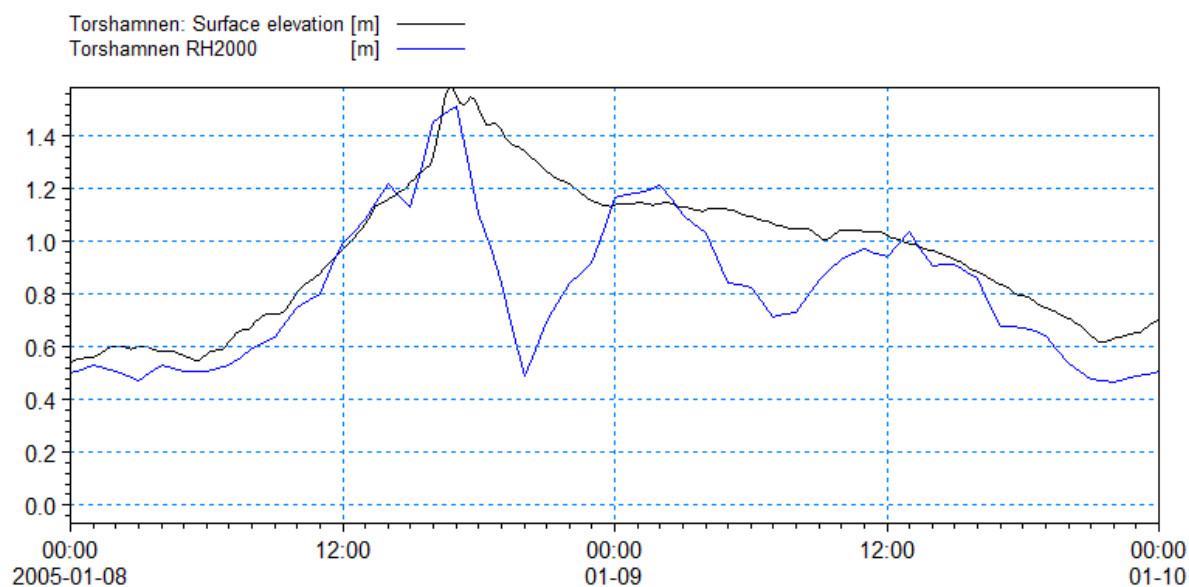
Scenarierna är utformade för att med modellen visa vad som händer då vattnet stiger, flöden förändras, skyddsportar och pumpar anläggs. Antaganden kring utformning och läge av portar och pumpar samt tappning i Göta älv är att betrakta som exempel och inte rekommendationer för hur systemet skall styras.

5 Resultat

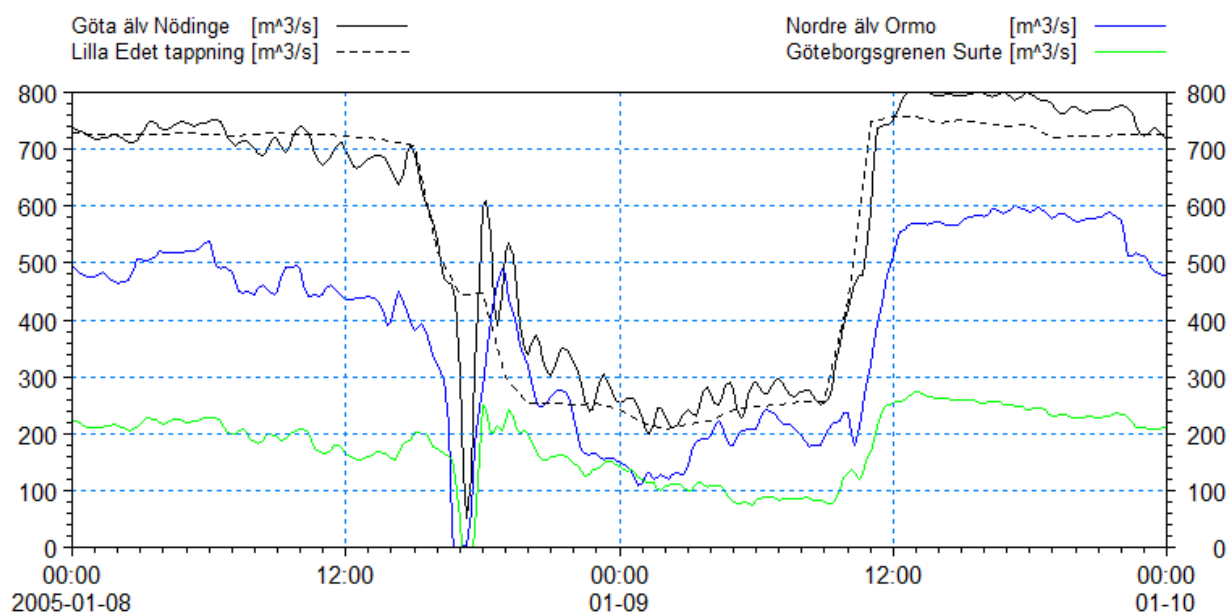
Nedan beskrivs resultaten från modellsimuleringarna, uppdelade på de fyra scenarierna. Alla nivåer är relaterade till RH2000.

5.1 Scenario Gudrun 2005

I Figur 5-1 visas en jämförelse mellan uppmätt och modellerad vattennivå vid Torshammen under Gudrunstormen 2005. Resultaten visar att modellen återskapar de höga vattennivåer som förekom. Mellan Sverige och Danmark kan det i vissa fall uppstå en våg som svänger några gånger fram och tillbaka innan den dämpas ut. Detta fenomen uppstod under Gudrun. I de modelldata som DHI har haft tillgång till från 2005 fanns inte detta fenomen med. Därmed kan den lokala modellen för Göteborg inte helt återskapa de svängningar som uppstod i vattennivå. Detta har dock ingen större betydelse för den övergripande analysen av effekter från portarna.



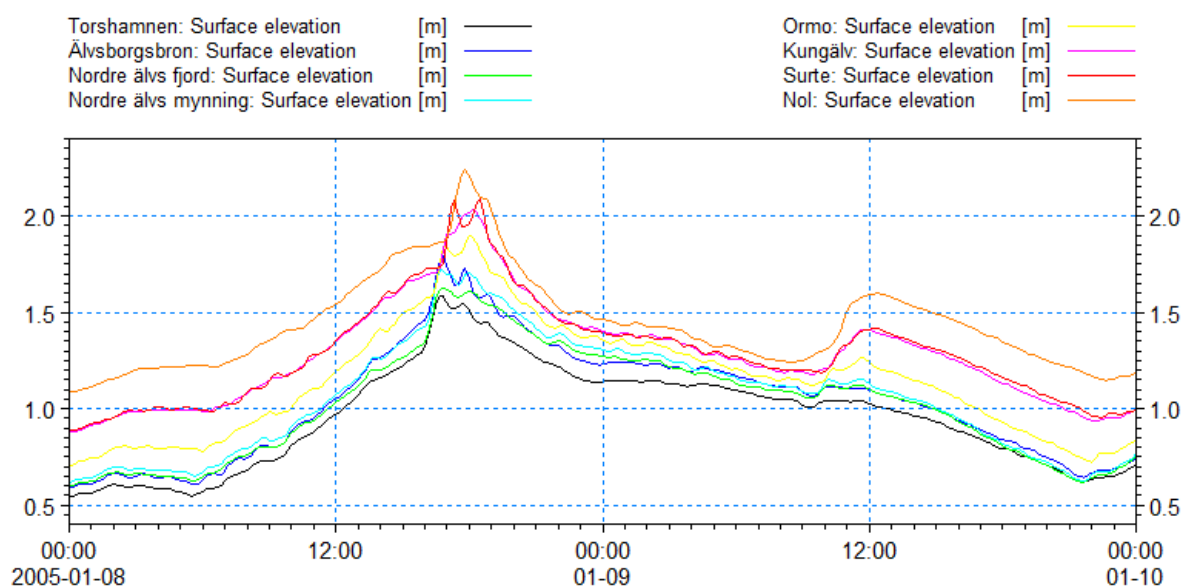
Figur 5-1. Jämförelse mellan uppmätt havsnivå vid Torshammen (blå linje) och modellerad nivå (svart linje).



Figur 5-2. Tappning i Lilla Edet under Gudrun och modellerade flöden i olika delar av älven.

I Figur 5-2 visas tappningen i Lilla Edet under stormen Gudrun. Då vattennivåerna var som högst minskade man tappningen enligt de regleringsbestämmelser som finns. Kl. 15 började man dra ner på tappningen samtidigt som havsnivåerna fortfarande steg. Modellen visar responsen i älven där flödet under någon timma nästan helt stannar upp. Samtidigt fortsätter nivåerna i älven att stiga fram till kl. 18 men toppen i havet nås kl. 17, se Figur 5-3.

När vattennivåerna i havet börjar sjunka och tappningen fortfarande är låg, sjunker vattennivåerna i älven snabbt. Hur älvens lutning varierar med stigande/avtagande havsnivåer i kombination med tappningen syns tydligt i figuren. Minsta lutning har vi då havsnivåerna avtar och flödet är lågt. Runt kl. 9 den 9/1 ökar tappningen från ca 250 m³/s till 750 m³/s. I samband med detta ökar lutningen på älven så att skillnaden i vattennivå mellan två punkter, t.ex. Surte och Älvsborgsbron, ökar markant. Man kan alltså påverka översvämningsrisken uppströms beroende på hur mycket vatten man väljer att tappa i Lilla Edet.

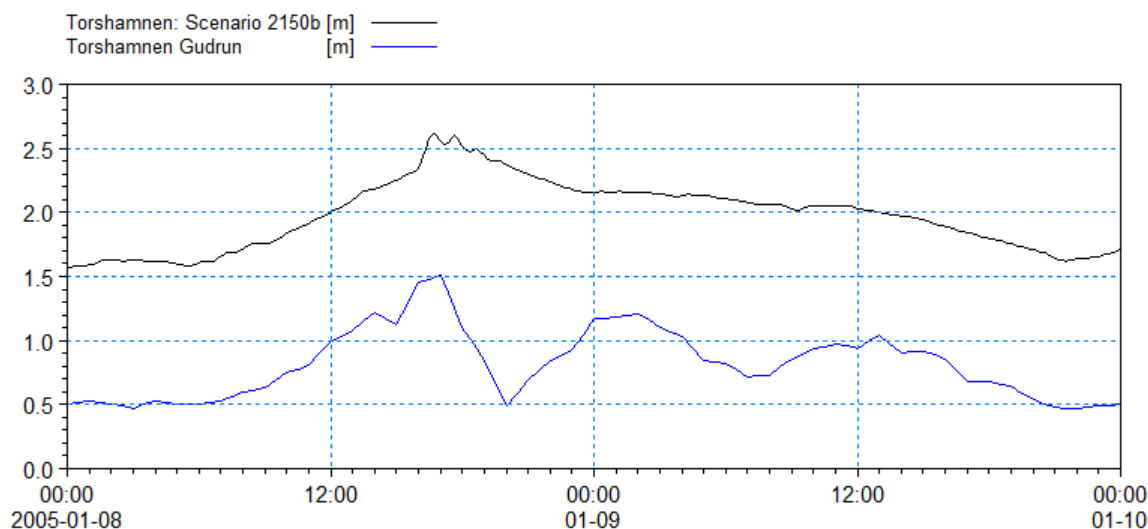


Figur 5-3. Modellberäknade vattennivåer i Göta älv och Nordre älv.

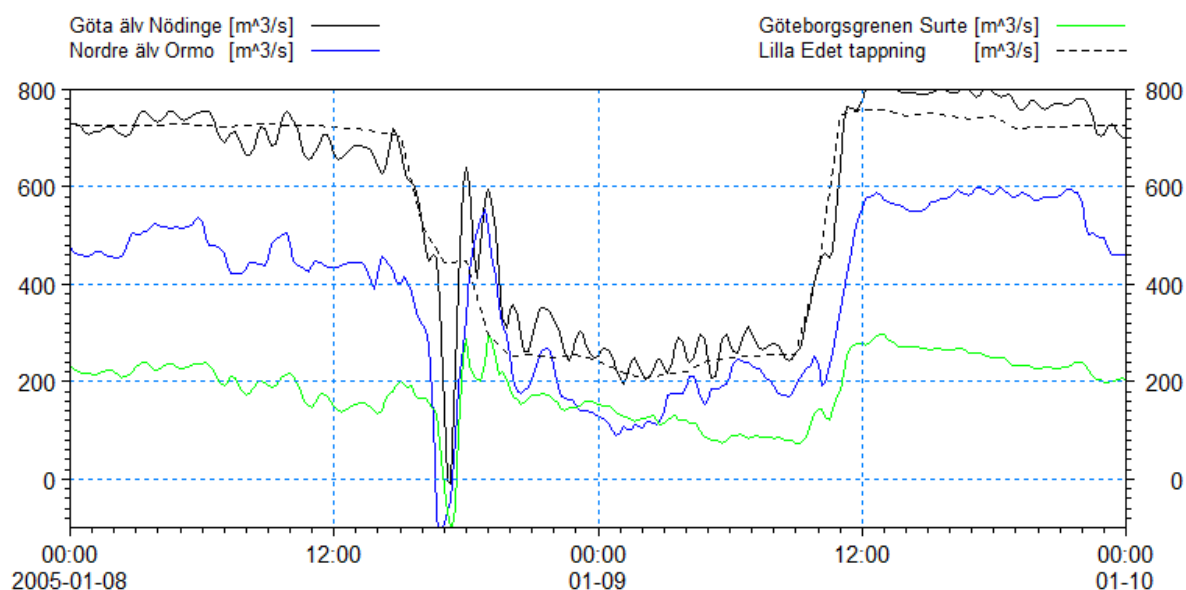
5.2 Scenario Gudrun 2150b

I Figur 5-4 visas den uppmätta havsnivån 2005 och modellerad havsnivå 2150. År 2150 är medelvattenytan ca 1.1 m högre i vårt scenario än under 2005. Som framgår av figuren ligger då havsnivån över +1.5 i RH2000 under hela perioden.

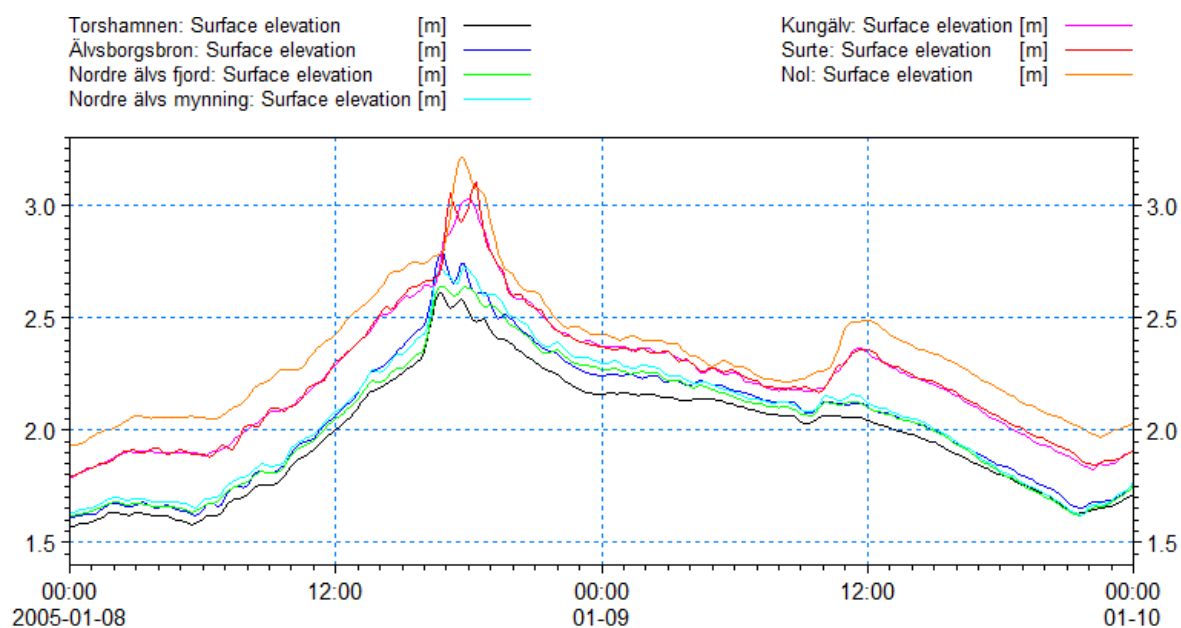
Figur 5-5 motsvarar Figur 5-2 men för scenario 2150b. Med den högre havsnivån men bibehållen tappning i Lilla Edet, förändras inte flödena i älven nämnvärt. Den högre havsnivån resulterar i högre nivåer i älven, se Figur 5-6, men systemet ställer in sig så att flödena blir i stort sett samma som under Gudrun 2005. Eftersom modellen i denna förstudie inte omfattar land som kan översvämmas över dagens medelvattenyta så överskattar modellen sannolikt nivåerna i älven.



Figur 5-4. Jämförelse mellan uppmätt havsnivå vid Torshammen 2005 och modellerad nivå scenario 2150b.



Figur 5-5. Tappning i Lilla Edet under Gudrun scenario 2150b och modellerade flöden i olika delar av älven.



Figur 5-6. Modellberäknade vattennivåer i Göta älv och Nordre älv för scenario 2150 b.

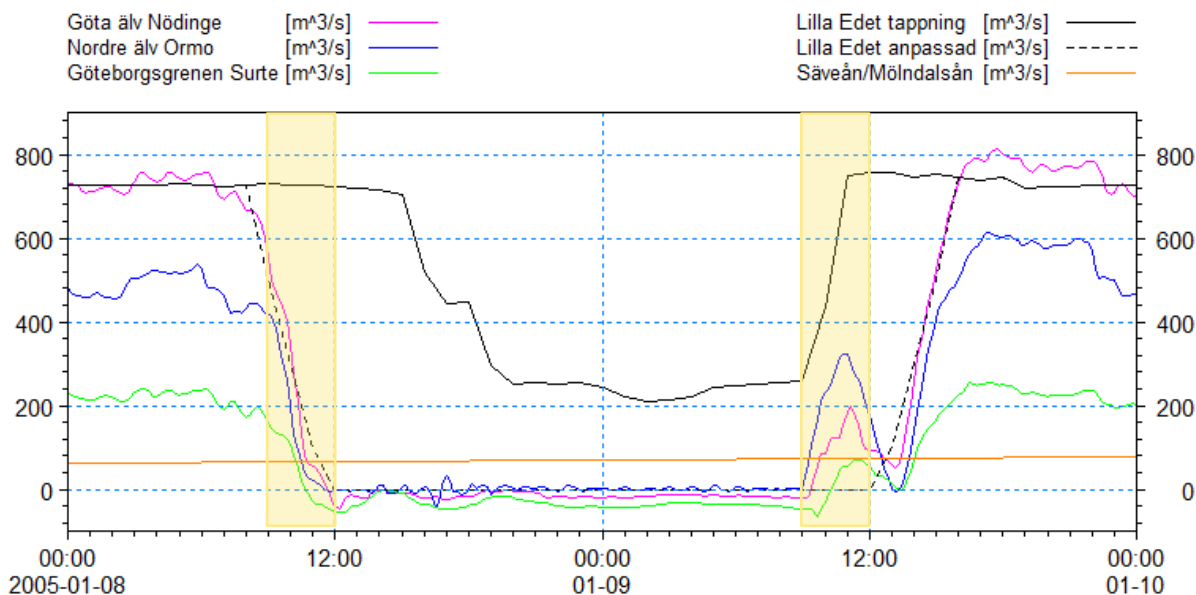
5.3 Scenario 2150b med skyddsportar

I Figur 5-7 visas tappning och flöde i älven för scenario 2150b med skyddsportar. I modellen har vi anpassat tappningen i Lilla Edet så att den går från 750 m³/s till 0 m³/s under fyra timmar (kl. 8-12 den 8/1). En timma senare börjar portarna stängas och är helt stängda efter tre timmar (kl. 12 den 8/1). Fortfarande sker tillflödet från Säveån och Mölndalsån med ca 65 m³/s innanför portarna.

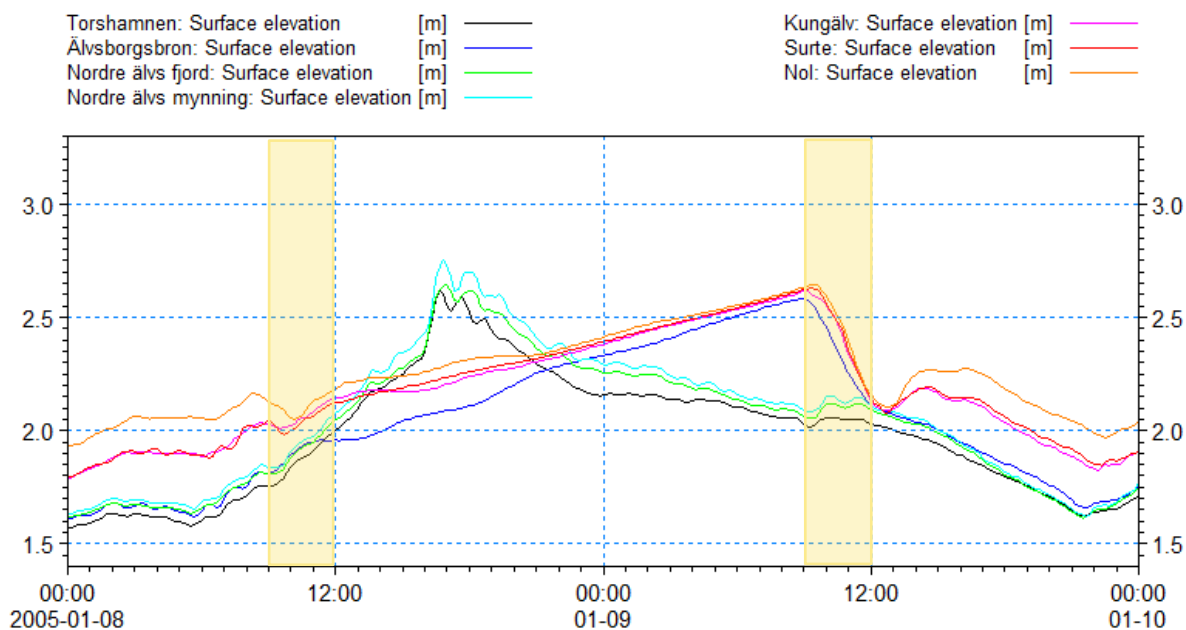
I samband med att tappningen minskar får vi först en liten sänkning av vattennivåerna längre upp i älven, trots att havsnivåerna samtidigt är stigande, se Figur 5-8, kl.8-10 den 8/1. När portarna är stängda fortsätter nivåerna i älven att stiga till följd av tillrinningen

från Sävån och Mölndalsån. Flödet i Göteborgsgrenen är riktat norrut. Eftersom tillrinningen är relativt hög och inga pumpar finns i modellen stiger vattenståndet innanför portarna.

Efter 9 timmar med portarna stängda har vattennivåerna i havet utanför minskat och vattennivåerna innanför portarna börjar bli högre än vad de är utanför. Under 24 timmar med stängda portar kommer tillrinningen från åarna att kunna höja vattenytan med en dryg halvmeter i Göteborg. För att inte översvämma staden "inifrån" behövs pumpar.



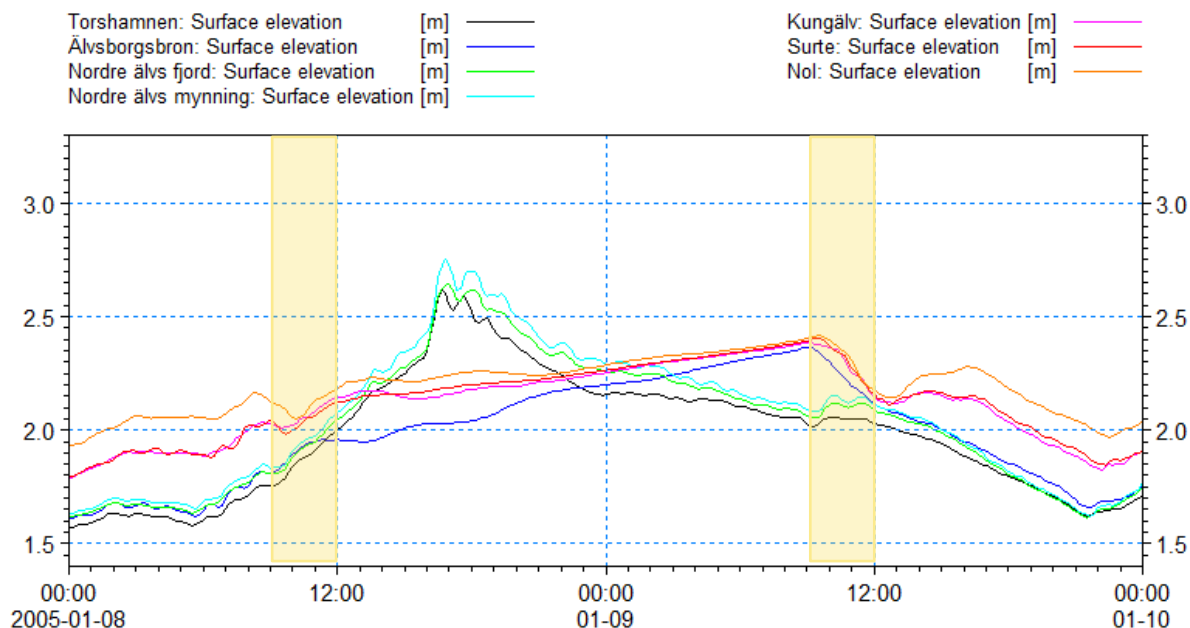
Figur 5-7. Tappning i Lilla Edet under Gudrun, anpassad tappning till stängda portar och modellerade flöden i olika delar av älven kopplade till den anpassade tappningen. Gula markeringar visar tidsperioderna då portarna stängs och öppnas.



Figur 5-8. Modellberäknade vattennivåer i Göta älv och Nordre älv för scenario 2150 b med portar. Gula markeringar visar tidsperioderna då portarna stängs och öppnas.

5.4 Scenario 2150b med skyddsportar och pumpar

I detta scenario har vi lagt till pumpar vid skyddsporten vid Nya Varvet med en kapacitet av 30 m³/s. I övrigt är scenariot identiskt med det föregående. Genom att pumpa ut 30 m³/s under 24 timmar sänker man vattennivåerna med drygt 2 dm mot slutet av den stängda perioden.



Figur 5-9. Modellberäknade vattennivåer i Göta älv och Nordre älv för scenario 2150 b med portar och pumpar. Gula markeringar visar tidsperioderna då portarna stängs och öppnas.

5.5 Generella resultat

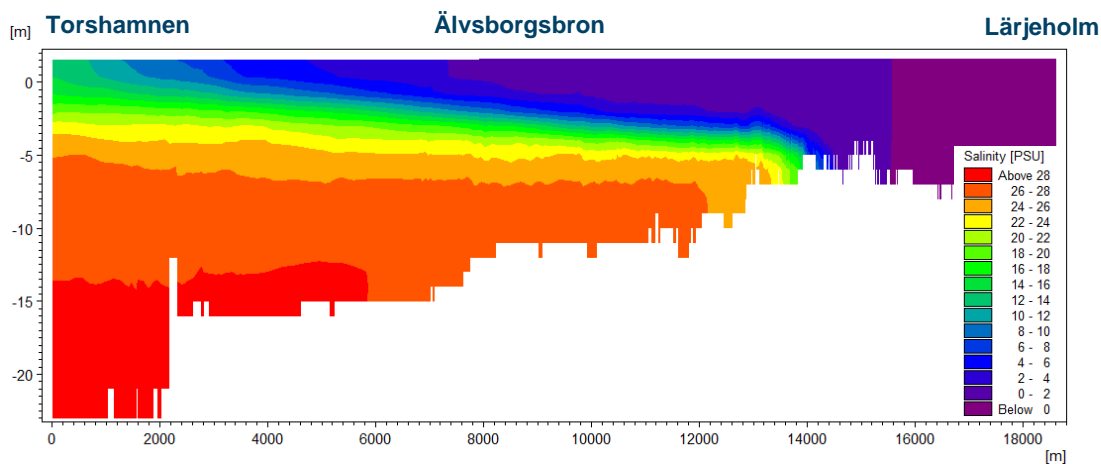
När vi tittar på resultaten från de fyra olika modellerade scenarierna får vi en god uppfattning om dynamiken i systemet. Förutom vattennivåer och flöden som redovisats per scenario ovan, är det viktigt att kunna se hur den estuarina cirkulationen kan komma att påverkas av högre vattennivåer och portar.

Rent allmänt visar modellresultaten att då havsnivåerna stiger så tränger saltkilarna längre upp i respektive flodmynning. Flödet från älven är dock så stort att skillnaden är relativt liten och kanske försumbar i sammanhanget. För råvattenintaget i Lärjeholm kommer man troligtvis att få fler tillfällen med saltvattenuppträngning än idag.

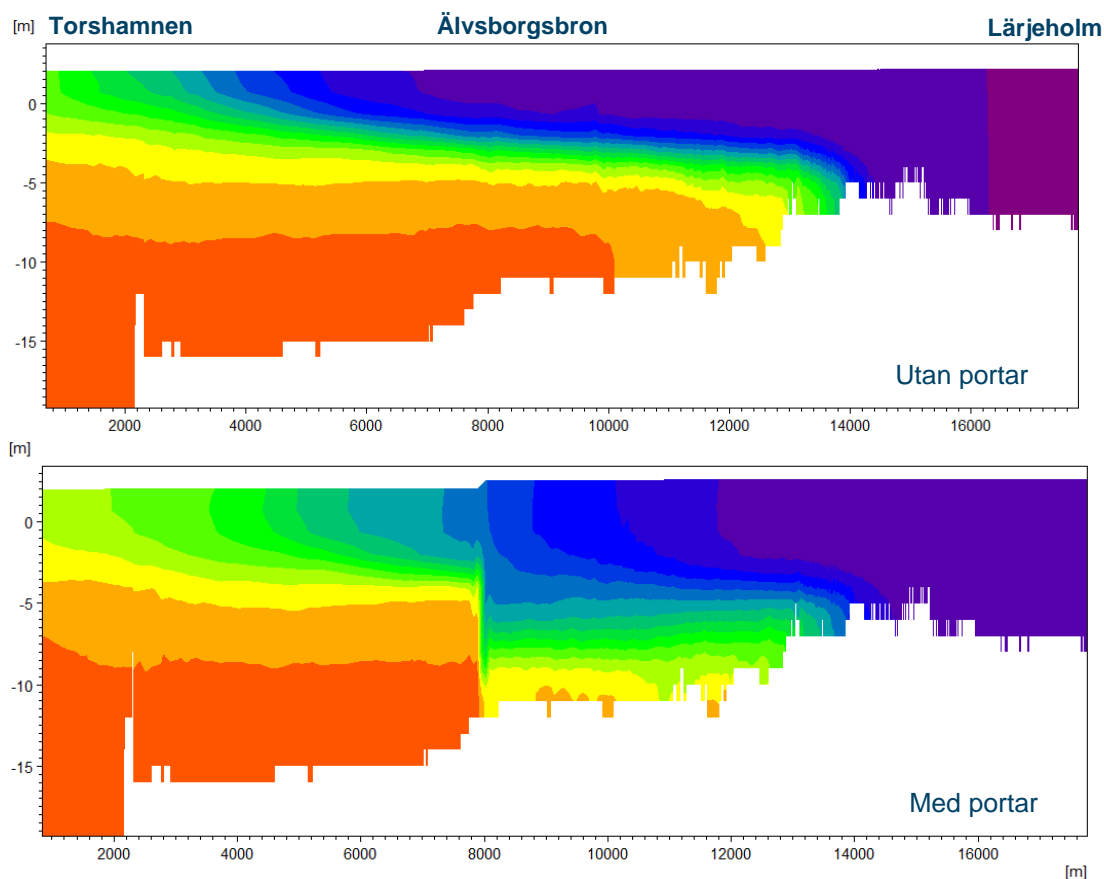
Resultaten från simuleringarna visar att saltkilens läge inte påverkas nämnvärt av skyddsportarna när de är öppna och med den typ av konfiguration man tänkt sig i förstudien. I Figur 5-10 visas ett tvärsnitt från Torshamnsleden och upp i älven till Lärjeholm. Saltkilen ser likadan ut med och utan öppna portar.

När portarna stängs avstannar den estuarina cirkulationen och vattnet utanför portarna blir saltare högre upp i vattenmassan, se Figur 5-11. Så fort portarna öppnas så ställer cirkulationen in sig relativt snabbt, se Figur 5-12. Det handlar om i storleksordningen timmar för att saltkilen ska återetablera sig efter att portarna har öppnats.

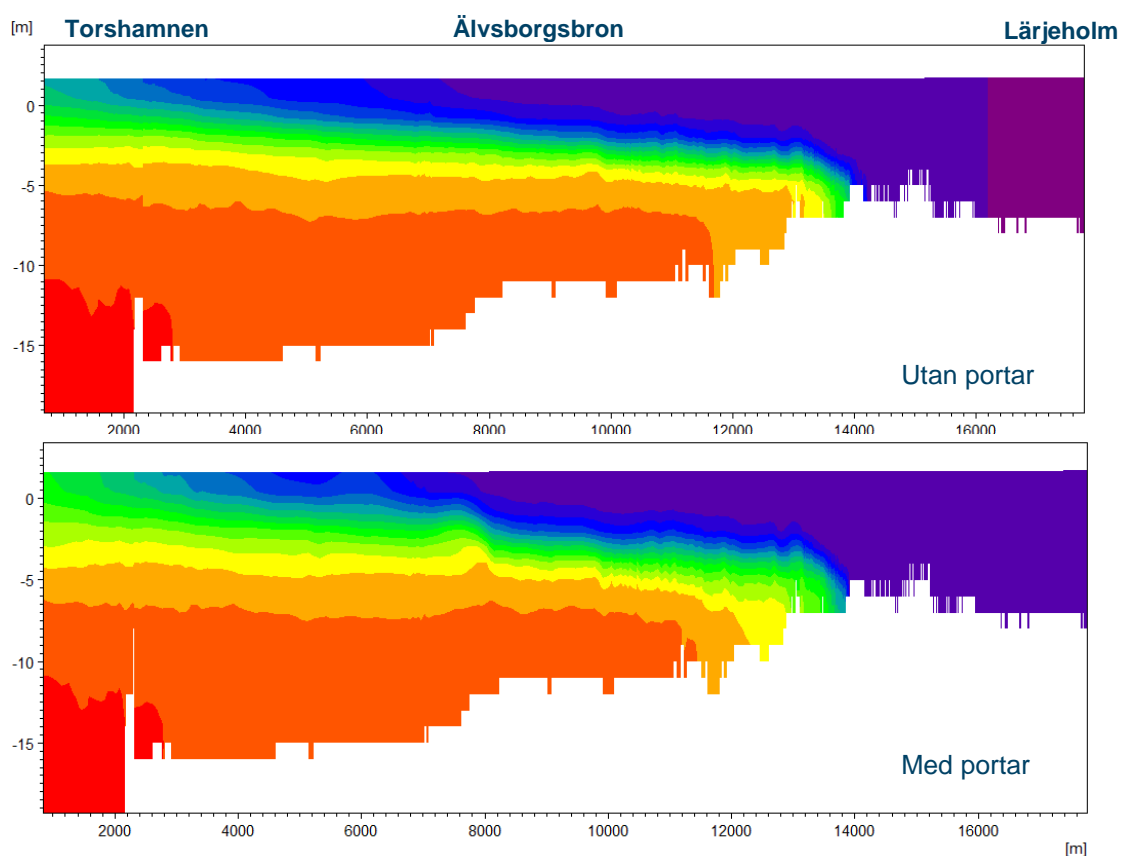
För älven och kustvattnet som helhet visar resultaten att strömmarna och cirkulationen håller sig inom de, för området, normala värdena.



Figur 5-10. Saltkilens läge och salthalter från Torshammen till Lärjeholm kl. 00 den 8/1 för fallen utan portar eller med öppna portar.



Figur 5-11. Saltkilens läge och salthalter från Torshammen till Lärjeholm kl. 09 den 9/1, överst utan portar och underst med stängda portar.



Figur 5-12. Saltkilens läge och salthalter från Torshammen till Lärjeholm kl. 22 den 9/1, överst utan portar och underst med stängda portar.

6 Slutsatser

Med hjälp av en tredimensionell hydrodynamisk modell kan man modellera de effekter som skulle uppstå av att man anlägger och använder skyddsportar i Göta älv och Nordre älv. Genom att simulera dynamiska förlopp såsom en stormhändelse kan modellen illustrera de effekter på vattennivåer, strömmar och salthalt som portarna får. När modellen väl är uppsatt för en händelse är det relativt enkelt att pröva olika typer av förändringar i t.ex. vattenföring, antal pumpar, skyddsportarnas position etc.

Strömförhållanden och vattenstånd i älven

I normala fall förekommer stora variationer i strömhastigheter och saltkilens läge i älvmyningarna. Skyddsportar vid Ormo och Nya Varvet kommer inte att förändra detta om de utformas på rätt sätt. Då portarna stängs sker kortvarigt en omställning från estuarin cirkulation med tydlig tvålagerströmning till något som mer liknar förhållandena längre ut i skärgården. När portarna öppnas igen efter ett dygn eller kanske två ställer cirkulationen in sig till "normala" förhållanden igen med återetablering av saltkilen.

Om man väljer att dra ner på tappningen i Lilla Edet samtidigt som man stänger portarna kan flödet i älven tillfälligtvis vända och gå norrut från Göteborg. Strömhastigheterna skulle dock vara låga och flödet beror till största del på tillrinningen från Sävån och Mölndalsån. Med pumpning vid Nya Varvet skulle denna effekt kunna elimineras.

Modellberäkningarna visar att det inte förekommer några förändringar i strömhastigheter som inte redan förekommer naturligt. Skyddsportarna medför inte någon ökad erosionsrisk i älven till följd av högre strömhastigheter under de förutsättningar som modellerats i denna rapport.

Påverkan på miljön

Man skulle kunna tänka sig en viss påverkan på den marina miljön under perioder då skyddsportarna används. Innanför portarna skulle t.ex. dagvatten och avrinning från land kunna leda till högre halter av föroreningar än normalt eftersom spädningseffekten är mindre då flödet i älven är nära noll. När portarna öppnas kan vattnet i grunda närområden utanför portarna påverkas av högre föroreningshalter än normalt.

Genom att stänga av flödet i Göta älv och Nordre älv helt förändras salthaltsförhållandena kortvarigt. Den estuarina cirkulationen upphör då portarna är stängda och salthalten blir högre i ytvattnet när älvens flöde stoppas. Detta skulle eventuellt kunna ha en påverkan på flora och fauna i området. I normala fall förekommer dock periodvis mycket låga flöden i älven vilket också innebär högre salthalter i området. Vi kan inte se att portarna kan skapa variationer i salthaltsförhållandena som inte redan förekommer idag.

Påverkan på fartygstrafik

Skyddsportarna kan utformas så att de inte behöver ha någon betydande påverkan på strömförhållanden i området då de är öppna. Detta innebär att inte heller fartygstrafiken behöver påverkas indirekt av portarna. I samband med att portarna stängs och öppnas kan dock närliggande områden uppleva förändringar i strömmönster och hastigheter som normalt inte förekommer.

Då portarna är stängda kommer förhållandena utanför att i stort återspegla de strömförhållanden som råder under en normal storm. När portarna öppnas och älven börjar strömma igen kommer detta att upplevas på samma sätt som strömmarna beter sig efter en storm. Man kommer att få starka strömmar i ytvattnet ut ur mynningsområdet med resulterande strömmar inåt i de djupare vattenlagren. Hur fartygstrafiken påverkas av denna typ av strömförhållanden har lotsarna i området god kännedom om.

Slutligen

Avslutningsvis kan vi konstatera att skyddsportarna inte behöver få någon negativ inverkan på den generella cirkulationen eller strömhastigheter i älven. Erosionsriskerna behöver inte förändras jämfört med idag. Risken för erosion i älven hänger snarare ihop med klimateffekter (som högre medelvattenyta och förändrad nederbördsintensitet).

För att inte staden skall översvämmas innanför portarna till följd av lokal tillrinning behöver man pumpa ut vatten. Samtidigt blir systemet mer sårbart ju fler pumpar man är beroende av. Beroende på vilken kapacitet som behövs och därmed hur mycket plats pumparna kräver så är det möjligt att enbart anlägga pumpar vid skyddsporten i Göteborg. Rent cirkulationsmässigt kan detta vara en fördel då man behåller den normala riktningen på älvlödet även under stängda perioder eftersom Mölndalsån och Säveån mynnar i Göteborg.

Pumpar vid Ormoskärmen skulle eventuellt kunna vara överflödiga om tappningen i Lilla Edet kan hållas nära 0. Systemet blir mindre sårbart ju färre pumpar som behövs.

7 Referenser

- /1/ Nerheim, S., German, J. Indata till Yttre skyddsportar Göteborg – Flöden och vattenstånd 2150. PM version 3, 22 okt 2014. SMHI.