

RAPPORT

UPPDRAGSNUMMER
1321387000

**FÖRSTUDIE - SKYDDSPORTAR I UTLOPP TILL GÖTA ÄLV FÖR ATT SKYDDA MOT
ÖVERSVÄMNING VID HÖG HAVSNIVÅ SAMT ÖVERSIKTLIG BESKRIVNING AV STORSKALIGA
BARRIÄRER**



Foto: Mikael Svensson.

2014-02-24

RAPPORT
2014-02-24



"Enligt konstnären Anna Berglind är verket humoristiskt samtidigt som det vänder upp och ned på maktsymboler. Ljusskulpturen aktualiserar också politiska och miljömässiga utmaningar som stigande vattennivåer kan tänkas medföra i framtiden."

- Vårt Göteborg, 2013-12-03

RAPPORT
2014-02-24

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Uppdraget	7
1.3	Rapportstruktur	7
1.4	Hänvisningar	8
2	Säveån	9
2.1	Anmärkningar för skyddsport i Säveån	9
2.2	Nuvarande förhållanden	10
2.3	Operativ beskrivning	12
2.4	Inventering av funktioner	12
2.5	Krav och kriterier	14
2.6	Identifiering och värdering av alternativ	15
2.7	Multikriterieanalys av återstående alternativ	19
2.8	Föreslagen utformning av skyddsportsalternativ	20
3	Stora hamnkanalen och vallgraven	24
3.1	Anmärkningar för skyddsportar i Stora Hamnkanalen och vallgraven	24
3.2	Nuvarande förhållanden	25
3.3	Operativ beskrivning	28
3.4	Inventering av funktioner	28
3.5	Krav och kriterier	31
3.6	Identifiering och utvärdering av alternativ	31
3.7	Multikriterieanalys av återstående alternativ	34
3.8	Föreslagen utformning av skyddsportsalternativ	34
4	Kvillebäcken	36
4.1	Anmärkningar för skyddsportar i kvillebäcken	36
4.2	Nuvarande förhållanden	37
4.3	Operativ beskrivning	39
4.4	Inventering av funktioner	39
4.5	Krav och kriterier	40
4.6	Identifiering och utvärdering av alternativ	40
4.7	Multikriterieanalys av återstående alternativ	43
4.8	Föreslagen utformning av skyddsportsalternativ	45
5	Sammanfattande kostnadsuppskattning av skyddsåtgärder	48
5.1	Säveån	48
5.1.1	Skyddsport	48

4 (66)

RAPPORT
2014-02-24

5.1.2	Pumpstation	49
5.1.3	Sammanlagd kostnad för skyddsport i Sävån	49
5.2	Stora Hamnkanalen	49
5.2.1	Skyddsport	49
5.2.2	Pumpstation	50
5.2.3	Sammanlagd kostnad för skyddsport vid Stora hamnkanalen	50
5.3	Vallgraven	50
5.3.1	Skyddsport	50
5.3.2	Pumpstation	50
5.3.3	Sammanlagd kostnad för Vallgraven	51
5.4	Kvillebäcken	51
5.4.1	Skyddsport	51
5.4.2	Pumpstation	51
5.4.3	Sammanlagd kostnad för anläggning	51
5.5	Total kostnad för anläggande av skyddsportar	52
6	Göteborg – En möjlig storskalig lösning	53
6.1	Alternativa lokaliseringar av storskaliga barriärer	55
6.2	Skyddsbarriär vid Älvsborgsbron	56
6.3	Kungälv/Nordre älv	58
	Bilaga 1. Kravtabell	59
	Bilaga 2. Mått på effektivitet (kriterier)	60
	Bilaga 3. Förutsättningar för utformning av skyddsportar i förstudien	61
	Bilaga 4. Uppskattning av vind- och våghöjd	62
	Bilaga 5. Navigationsprofil	63
	Bilaga 6. Skisser på utformning	64
	Bilaga 7. Kostnadsuppskattning	65
	Bilaga 8. Kostnadsuppskattning för pumpstation i Sävån	66

Förord

Projektet har genomförts i samverkan mellan Sweco och Arcadis, där Arcadis fungerat som underkonsult till Sweco.

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

- Mats Andréasson, Sweco; Uppdragsledare
- Geert Schaap, Sweco; Biträdande uppdragsledare
- Erik Magnusson, Sweco; Expert/specialist inom anläggning för pumpstationer
- Daniel Edman, Sweco; Expert/specialist inom vattenkraftmekanik
- Svante Roupé, Sweco; Expert/specialist inom hamn och kusthydraulik
- Helmer Palmgren, Sweco; Expert/specialist inom anläggningskonstruktioner
- Magnus af Peterséns, Sweco; Expert/specialist inom geoteknik
- Henrik Bodin-Sköld, Sweco; Samordningsansvarig, GIS-handläggare
- Ross Carnegie, Sweco; Handläggare
- Anton van Kooij, Arcadis; Expert/specialist inom mekaniskt ingenjörskap/stålstrukturer
- Sten Bergström, SMHI; Klimatexpert
- Signild Nerheim, SMHI; Expert/specialist inom oceanografi

Inom ramen för projektet har ett studiebesök i Nederländerna genomförts där ett antal skyddsportsanläggningar besöktes. Under studiebesöket utbyttes erfarenheter gällande drift av anläggningar. De anläggningar som besöktes var av både mindre (liknande skala som är aktuellt för lösningarna i denna förstudie) och större karaktär. En sammanfattning av studiebesöket har redovisats separat.

Projektets huvudsakliga syfte har främst varit att göra en förstudie av klimatsäkring av Göteborgs stad. Detta genom att primärt översvämningssäkra de inre vattenvägarna (skyddsportar). I samförstånd med beställaren har även en översiktlig studie gjorts av storskaliga översvämningsskydd (barriärer), se Kapitel 6.

1 INLEDNING

1.1 BAKGRUND

Göteborg Stad ligger relativt lågt och är därför hotad av översvämningar från stigande havsnivåer. I Göteborgsområdet finns ett antal naturliga vattendrag samt ett kanalsystem vilket betyder att översvämningssituationer kan inträffa relativt snabbt i stadens centrala delar. För att hantera problemet genomför Göteborgs Stadsbyggnadskontor (SBK) studier av alternativa lösningar med skyddsportar i fyra av stadens vattendrag. Förstudien omfattar endast själva skyddsportarna, inte de tillhörande anläggningar och strukturer som kan vara erforderliga på land.

1.2 UPPDRAGET

SBK anförtror Sweco Environment AB uppdraget att genomföra en förstudie av fyra skyddsportar i Göteborg. ARCADIS deltog i projektet som underkonsult till Sweco.

1.3 RAPPORTSTRUKTUR

Kapitel 2 till 4 beskriver följande lokaliseringar;

- Kapitel 2 – Säveån, som mynnar på södra stranden av Göta älv
- Kapitel 3 – Stora Hamnkanalen och Vallgraven. Stora Hamnkanalen och Vallgraven anses vara jämförbara då de båda är kanaler som ligger i central Göteborg, de har därför samlats i ett kapitel
- Kapitel 4 – Kvillebäcken, som mynnar på Göta älvs norra strand

Utredning och utvärdering av lösningar är strukturerad enligt "the principles of systems engineering"¹. Kapitel 2-4 beskriver följande;

- Beskrivning av nuvarande förhållanden
- Beskrivning av lösningen i drift
- Inventering av funktioner och aspekter
- Krav
- Mått på effektivitet (kriterier)
- Alternativa lösningar
- Verifiering
- Multikriterieanalys

Kapitel 5 redovisar en sammanfattning av den kostnadsuppskattning som gjorts för de olika skyddsportsalternativen. I kapitel 6 redovisas ett förslag på storskalig lösning för att

¹ www.incose.org

skydda Göteborg mot översvämningar med hjälp av ett antal barriärer. Kapitel 5 och 6 har sammanställts av Sweco.

1.4 HÄNVISNINGAR

Rapporten är baserad på följande information:

- Offert för förstudie: Skyddsportar i utlopp till Göta Älv för att skydda mot översvämning vid höga havsnivåer
- Ett arbetsmöte på Sweco den 28 oktober 2013, med;
 - Ulf Moback, SBK
 - Mikael Ivari, Trafikkontoret, Göteborgs Stad
 - Svante Roupé, Sweco
 - Daniel Edman, Sweco
 - Geert Schaap, Sweco
 - Mats Andréasson, Sweco
- Platsbesök till Säveån, Stora Hamnkanalen, Vallgraven och Kvillebäcken den 28 oktober 2013
- Möte med Stadsbyggnadskontoret den 31 oktober 2013 där arbetsgruppen presenterade ett första förslag på lösningar samt ett utkast på förstudierapport
- Arbetsgruppens deltagande vid International Water Week i Amsterdam 6 november 2013
- Studiebesök i Nederländerna 7-8 november där ett antal barriärer och skyddsportar besöktes
- Översättning och komplettering med ytterligare information från Henrik Bodin-Sköld, Mats Andréasson, Ross Carnegie och Geert Schaap från Sweco Environment

2 SÄVEÅN

2.1 ANMÄRKNINGAR FÖR SKYDDSPORT I SÄVEÅN

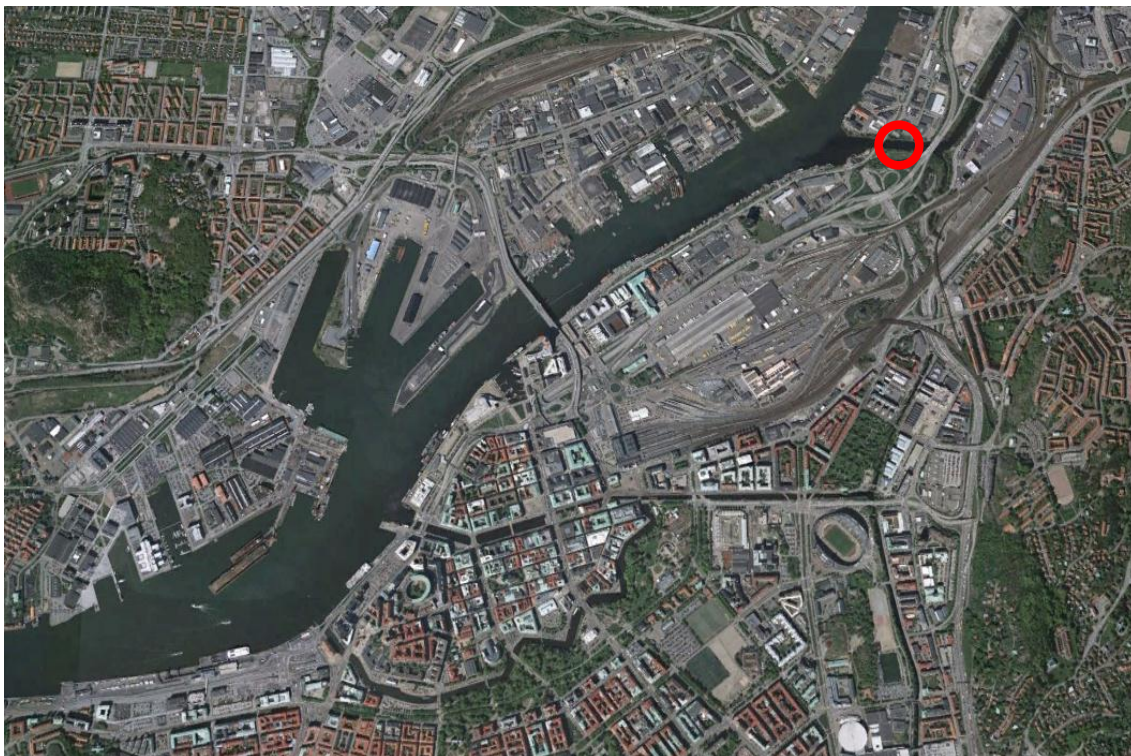
I samband med förstudiearbetet för skyddsport i Säveån, och utifrån diskussioner med Göteborgs Stad, bör följande punkter beaktas under det fortsatta arbetet:

- Alternativet att tillämpa skyddsportar för att skydda de inre vattenvägarna bör ses som en del i strategin att anlägga översvämningsskydd längs Göta älvs strand. Under fältbesök vid de fyra vattendragens utlopp noterades att älvens strand till stora delar utgörs av bebyggda områden med ett flertal byggnader nära vattenbrynet. Med tanke på strandområdenas karaktär och de framtida planerna för utveckling och exploatering av gamla hamn- och varvsområden, kan strategin att skydda de inre vattenvägarna med skyddsportar bli komplicerad. Det rekommenderas att inledningsvis genomföra en förstudie av hela det system som behöver översvämningssäkras innan mer detaljerade studier genomförs för skyddsportar.
- Inom ramen för förstudien tillämpades en kombination av extremt vattenflöde i Göta älv och vattenföring i Säveån. I vidare studier rekommenderas att ytterligare analyser görs av sannolika kombinationer av vattennivåer och vattenföring. Detta eftersom sådana kombinationer i sig utgör enskilda statistiska händelser.
- Förstudien omfattar inte några detaljerade beskrivningar av undervattenstrukturer eller fundament. Dessa komponenter utgör dock betydande delar i de totala kostnaderna för skyddsporten.
- Beskrivning av anläggningens tröskelnivå baseras på krav för vattenföring och navigering. Vid framtida studier bör utbytet av salt och färskvatten (saltkil) vid Säveån beaktas.
- Säveån omfattas av ett Natura2000-område. Ett av skälen till att området skyddas är förekomsten av lax (s.k. Sävållax) i vattendraget. Denna unika laxstam är havsvandrande och gör återkommande besök i Säveån för att leka. Sävållaxens lekvandningsperiod pågår mellan maj – oktober vilket medför att åtgärder i Säveån bör undvikas under denna period.
- Anläggningarnas pålitlighet i drift bör studeras mer i detalj vid fortsatta studier. Särskild vikt bör läggas vid risken för den mänskliga felfaktorn (drift- och underhåll) samt risken för tekniska fel.

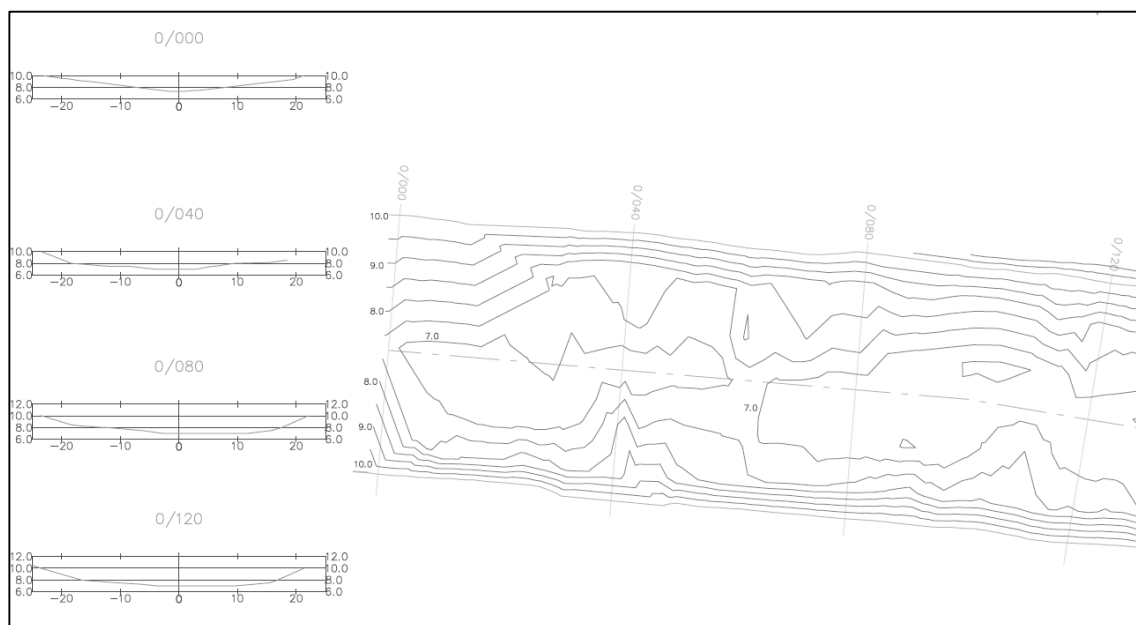
-
- I konstruktionsförslaget för en skyddsport i Sävån antas att själva porten kommer att kräva en tyngre lyftanläggning. Porten bedöms behöva lyftas upp för fullständig översyn inom 20-30 år, vilket då kommer kräva en lyftanordning. Ett alternativ är att konstruera anläggningen för att möjliggöra underhållsarbete av porten "på plats".
 - Erforderlig pumpkapacitet för Sävån ($165 \text{ m}^3/\text{s}$) är väldigt hög och detta skulle då medföra en pumpstation som tar betydande plats i anspråk. Ett icke-kontinuerligt användande av pumparna skulle försvåra att uppnå tillräcklig pålitlighetsnivå för anläggningen. Detta eftersom pumparna tar skada av inte användas under längre perioder. Det rekommenderas att studera alternativ för att minska vattenföringen i Sävån under de perioder då skyddsporten är stängd, i syfte att reducera pumpkapaciteten till ett absolut minimum.
 - Förutsättningar för hantering och skötsel av anläggningen bör specificeras ytterligare. Detta gäller exempelvis temperaturskillnader och isläggningsförhållanden som kan råda under anläggningens driftperiod.
 - Förutsättningarna för anläggande av skyddsporten bör undersökas ytterligare, särskilt avseende vilka tidsperioder på året som är bäst lämpade för anläggning, vindförhållanden, temperatur etc.
 - En mer detaljerad studie bör göras gällande vattenintaget för pumpstationen, vilken bör innefatta risk för isbildning bakom skyddsporten.
 - En specifik kostnadsbedömning har gjorts för anläggandet av en pumpstation vid Sävån. Denna bedömning redovisas i Bilaga 8.

2.2 NUVARANDE FÖRHÅLLANDEN

Sävån har sitt utlopp till Göta älv, cirka 2 km nordost om centrala Göteborg. Figur 1 nedan ger en översikt över staden och föreslaget läge för Sävåns skyddsport. Figur 2 visar tvärsektioner i Sävån.



Figur 1. Föreslagen placering av skyddsport i Sävåån. Bakgrundskarta: Google Maps.



Figur 2. Tvärsektioner för Sävåån vid föreslagen skyddsportplacering.

Flödet i Sävån är delvis kontrollerat av sjöar och dämmen uppströms. De flöden i Sävån som ska hanteras är, enligt uppgift från Stadsbyggnadskontoret, mellan 30 m³/s och 165 m³/s. Detta beror på regleringsförhållanden i dämmen och sjöar uppströms.

Översiktlig geoteknisk information för skyddsportsplaceringen;

- Jordart: lös lera
- Djupt till berg: ca 70 m
- Odränerad skjuvhållfasthet av 14 kPa ned till 5m, +1,6*z för djupare nivåer

2.3 OPERATIV BESKRIVNING

Under normala förhållanden hålls skyddsporten öppen där Sävån ansluter till Göta älv. Det blir fortsatt möjligt för fritidsbåtar att nå Sävån genom skyddsporten.

När väderprognoser indikerar höga vattenstånd i Göta älv, stängs skyddsporten och all navigering blockeras. Prognosen kan även användas för att i förväg, och under stängning, kunna reglera uppströms liggande sjöar och dämmen. I närheten till skyddsporten anläggs en pumpstation med kapacitet att avleda flödet från Sävån till Göta älv, varmed vattenståndet i Sävån och Mölndalsåns delflöde till Gullbergsån hålls på en acceptabel nivå under den tid då porten är stängd.

2.4 INVENTERING AV FUNKTIONER

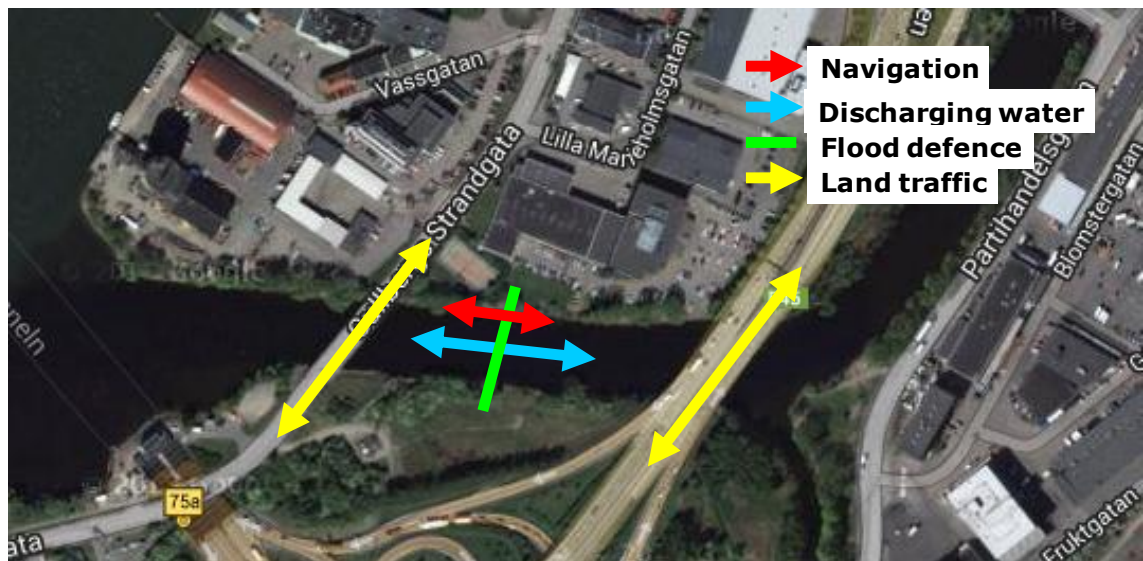
Sävån har sitt utflöde norr om Gullbergsvass i centrala Göteborg vid Tingstadstunneln, se Figur 3 nedan.



Figur 3. Sæveån i centrala Göteborg. Foto Mikael Svensson.

Nedanstående figur visualiserar tilltänkta funktioner i samband med anläggandet av en skyddsport i Sæveån:

- Översvämningsskydd
- Vattenföring till Göta älv
- Båtpassage
- Landtrafik



Figur 4. Förslag på utformning och funktioner vid en framtida skyddsport i Sävåån. Bakgrundskarta: Google Maps.

Avbrott i båttrafiken bedöms vara acceptabel, under förutsättning att det orsakas av höga vattenstånd i Göta älv. Däremot bör landbaserad trafik samt avledning av vattenflödet från Sävåån vara fortsatt fungerande vid sådana situationer.

Utöver utformningsaspekter för anläggningen bör följande beaktas:

- Strukturell säkerhet (MTO)²
- Systemet i drift
- Driftsäkerhet vid stängning och öppning samt pumpning
- Underhåll
- Estetik, arkitektur och landskapsbild
- Konstruktion
- Säkerhet
- Hållbarhet

2.5 KRAV OCH KRITERIER

En tabell med specificerade krav för Sävåån bifogas i Bilaga 1. Kriterierna förklaras i Bilaga 2.

² Människa–Teknik–Organisation.

2.6 IDENTIFIERING OCH VÄRDERING AV ALTERNATIV

Ett antal alternativa lösningar för skyddsportar har identifierats. Urvalsprocessen baserades på en dialog mellan projektgruppen och beställaren, ett studiebesök vid Nederländska anläggningar samt erfarenhet från projekt i Nederländerna. Lösningarna som uppfyllde kraven (enl. Bilaga 1) valdes för vidare utvärdering.

Tabell 1. Alternativ för skyddsportar i Sävåån.

Kod	Beskrivning	Resultat av utvärdering	Första bedömning	Andra bedömning
0	Nuvarande förhållanden; öppet utflöde till Göta älv. Befintliga översvämningsskydd längs med Sävåns strand.	Uppfyller inte kravet F.1; skyddsnivå.	Valdes ej	-
1	Avstängt dämme med sluss för båtpassage och permanent pumpstation.	Uppfyller alla krav.	Valdes	-
2	Flyttbar barriär, ingen pumpstation.	Inte tillräcklig avbördningskapacitet från Sävåån när skyddsporten är stängd.	Valdes ej.	-
3a	Skyddsport i form av en ("lifting gate" (lyftbar port) med pumpstation.	Uppfyller alla krav.	Valdes.	-
3b	Skyddsport i form av "mitre gates" (traditionell slussport med två sidoluckor) med pumpstation.	Är beroende av vilken bredd som erfordras för skyddsportar.	Krävs vidare utvärdering.	Valdes ej (se text nedan).
3c	Skyddsport i form av en "Roller gate" (rälsdriven rullport) med pumpstation.	Instabil lösning vid stängning under strömmande förhållanden. Driftsäkerhet och underhåll ett bekymmer med anledning av strukturer (spår) under vattenytan.	Krävs vidare utvärdering av stabilitet då porten är i stängt läge.	Valdes ej (se text nedan).
3d	Skyddsport i form av en "Bottom hinged gate" (bottenmonterad skyddsport med gångjärn) med pumpstation.	Uppfyller alla krav, men driftsäkerhet och underhåll bedöms bli ett bekymmer med anledning av strukturer (gångjärn) under vattenytan.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	-
3e	Skyddsport i form av en "Cylinder gate" (av typen Thames-barriär) med pumpstation.	Uppfyller alla krav, men driftsäkerhet och underhåll bedöms bli ett bekymmer eftersom själva porten är nedsänkt.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	-
3f	Skyddsport i form av en "Inflatable gate" (uppblåsbar anordning) med pumpstation.	Nödvändigt att kontrollera möjliga variationer av vattentryck; driftsäkerhet och underhåll bedöms bli ett bekymmer eftersom själva porten är nedsänkt.	Krävs vidare utvärdering av maximalt vattentryck.	Valdes ej (se text nedan)
3g	Skyddsport i form av en "bottom hinged gate" (bottenmonterad skyddsport med gångjärn) driven av uppblåsbara element (Obermeyer gate).	Se bedömning ovan 3f.	Krävs vidare utvärdering av maximalt vattentryck.	Valdes ej (se text nedan).

För alternativen 3b, 3c, 3f och 3g behövs fördjupad analys inför utvärdering.

Alternativ 3b innebär en flyttbar barriär med s.k. "mitre gates". Denna typ av anordning är tillämplig för en strukturbredd på upp till cirka 15 m. Detta under förutsättning att vattenståndet i Sävån ger erforderligt vattendjup om ca 4 m. Med en erforderad maximal flödes hastighet på 1 m/s, bör strukturen ha en bredd på ca 40 m. "Mitre gates" kan därför bara användas om strukturen är uppdelad i tre öppningar, med extra pelare i vattnet. Denna struktur medför även behov av ett större ingrepp i stadsmiljön. Därmed ökar också strukturens påverkansfaktor för vattendraget. En breddning av vattendraget skulle även kunna innebära en konfliktsituation med intilliggande broar.

Alternativ 3c innefattar s.k. "roller gates", vilka rör sig i sidled på spår som är förlagda på botten av vattendraget. I dess stängda fas, är denna typ av skyddsport känslig för strömningspåverkan. Ett tillräckligt högt flöde kan lyfta porten ur sitt spår och därmed förhindra fortsatt användande. Vid extremfall riskerar skyddsporten även att lossna helt. "Roller gates" är jämförbara med "mitre gates" då båda alternativen är känsliga för högvattenflöden, vilket tidigare redovisats. Av samma skäl bedöms detta alternativ inte vara aktuellt för vidare studier.

Alternativ 3f och 3g är alternativ som baseras på uppblåsbara komponenter. En av de största uppblåsbara barriärerna i världen är den Nederländska Ramspol-barriären. Barriären håller ett hydrostatiskt tryck av 1,5 - 2,5 m. I Sävån är det hydrostatiska trycket upp till 3,5 m och därför betydligt högre än i fallet Ramspol. Bredden på öppningen är inte relevant i dessa sammanhang, eftersom trycket från vattenbelastningen tas upp av portens fundament. Det höga hydrostatiska trycket i Sävån medför att detta alternativ är alltför riskfyllt. Med anledning av detta utesluts uppblåsbara alternativ i den fortsatta studien.

En mer detaljerad design måste emellertid genomföras för vattenintaget i samband med design av pumpstationen. Detta bör inkludera risken för ispackning bakom skyddsporten.

Följande tabell visar återstående alternativmöjligheter för skyddsport i Sävån.

Tabell 2. Återstående alternativ för Säveån efter värdering mot kravkriterier.

Kod	Beskrivning	Resultat av utvärdering	Första bedömning	Andra bedömning
1	Avstängt dämme med sluss för båtpassage och permanent pumpstation.	Uppfyller alla krav.	Valdes.	-
3a	Skyddsport i form av en "lifting gate" med pumpstation.	Uppfyller alla krav.	Valdes.	-
3d	Skyddsport i form av en "bottom hinged gate" med pumpstation.	Uppfyller alla krav, men driftsäkerhet och underhåll kan bli ett bekymmer eftersom vitala delar, ex. gångjärn, är placerade under vattenytan.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	-
3e	Skyddsport i form av en "Cylinder gate" (av typen Thames-barriär) med pumpstation.	Uppfyller alla krav, men driftsäkerhet och underhåll är ett bekymmer eftersom själva porten är nedsänkt i vatten.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	-

2.7 MULTIKRITERIEANALYS AV ÅTERSTÅENDE ALTERNATIV

Tabell 3. Multikriterieanalys av återstående alternativ för Sävåån.

Kriterier	Alternativ			
	1, Avstängt dämme, sluss och pumpstation	3a, Lifting gates och pumpstation	3d, Bottom hinged gates och pumpstation	3e, Cylinder gate (av typen Thames-barriär) och pumpstation
Pålitlighet gällande översvämningsskydd	+	0	0	0
Pålitlighet gällande pumpkapacitet	+	-	-	-
Komplexitet i drift	+	0	-	-
Risk under konstruktion	0	0	0	0
Miljöpåverkan	-	0	0	0
Energiförbrukning	-	+	+	+
Påverkan på kringliggande stadsmiljö	0	-	+	+
<u>Totalt (utan viktning)</u>	+1	-2	-2	-2
<u>Beräknad kostnad (rankning)</u>	4	1	2	3
<u>Slutlig utvärdering</u>	Valdes ej.	Möjligt, accepterad påverkan på landskap.	Möjligt, accepterad komplexitet i drift.	Möjligt, accepterad komplexitet i drift.

I ett tekniskt funktionellt perspektiv visar sig alternativ 1 vara det främsta alternativet. Alternativ 1 medför dock en stor miljöpåverkan, med därtill tillhörande kostnader förknippade med kompensationsåtgärder.

Alternativ 3a är den enklaste skyddsportslösningen avseende konstruktion och drift. En negativ aspekt är den stora påverkan på landskapsbilden, inte minst avseende de höga lyftanordningarna och en höjd skyddsport i öppnat tillstånd. Alternativ 3d och 3e skulle inte vara lika synliga men skulle dock kräva ett mer komplext skötsel- och underhållsprogram. Gällande pålitlighet av pumpningsfunktionen kan alternativen 3a, 3d och 3e bli problematiska med anledning av infrekvent användande av pumparna.

Alternativ 3a, 3d och 3e är alla rimliga förslag för Sävåån. Det slutgiltiga valet är avhängigt hur beställaren ser på frågan om utmaningar med landskapsbilden respektive utmaningar med drift- och underhållskrav.

2.8 FÖRESLAGEN UTFORMNING AV SKYDDSPORTSALTERNATIV

Av de tre sista alternativen är alternativ, 3a ("lifting gate") minst kostsamt och lättast att underhålla, varför detta alternativ föreslås för Säveån.



Figur 5. "Lifting gate" i Nederländerna (Kromme Nol, vid uppdämda Meuse älv). Foto: Arcadis.

Tabell 4. Beräknade dimensioner för en skyddsport i Sävåån.

Parameter	Värde	Kommentar
Öppningar	1	Så länge att det är tekniskt rimligt, är det mest ekonomiskt fördelaktigt att använda så få öppningar som möjligt.
Bredd på öppningen	35 m	Med ett antaget djup på 4 m och ett dimensionerande flöde på 165 m ³ /s, motsvarar föreslagen bredd det hydrostatiska trycket i porten när den är öppen 5 – 10 cm, med en vattenhastighet på 1 – 1,5 m/s.
Bottennivå i öppningen	3,25 m under medelvattenytan.	Baserad på krav för båtpassage.
Toppnivå för stängd skyddsport	4,0 – 5,5 m över medelvattenytan.	Dimensionerad vattenyta är 3,5 m över medelvattenytan. Beroende på acceptabelt bräddningsflöde, bör fribord vara 0,5 m till 2 x vind/våghöjd.
Total skyddsporthöjd	8,5 m	Baserad på en toppnivå av 5 m över medelvattenytan.
Bottennivå av skyddsporten när den är öppen	2,5 – 3 m över medelvattenytan.	Baseras på dimensioner för fritidsbåtar. Närmaste lägsta bro har en öppningshöjd av 2 m. Frihöjden för skyddsporten är därmed i enlighet med befintlig bro.
Toppnivå för skyddsporten när den är öppen	11,5 m över medelvattenytan.	Lyfttorn ska vara 1 – 2 m högre än denna nivå.
Uppskattad skyddsportvikt	250 t	
Drivmekanism	Inte bestämt.	Hydraulcylindrar är tillämpligt.
Pumpkapacitet	30 m ³ /s till 165 m ³ /s.	Installeras i separat pumpstation.

En första uppskattning av erforderlig yta för pumpstation kan göras. Detta i jämförelse med den befintliga anläggningen "Hooglandgemaal" i Stavoren, Nederländerna.



Figur 6. Hoogland pumpstation (pumpkapacitet 100 m³/s), Stavoren, Nederländerna. Foto: Arcadis.

Hoogland pumpstation har en kapacitet på ca 100 m³/s, och innehåller 4 pumpar med 3,5 m i diameter. Varje pump har en utloppskanal som är ca 6 m bred och med skiljeväggar som är 4 m breda. Det ger en total bredd för en pumpenhet på ca 10 m.

Pumpanläggningen kan därför bedömas bli ca 60 m lång, där längden beror på vilken typ av pump som väljs, snarare än antalet pumpar. Med grund i referensobjektet (Hoogland), uppskattas storleken på pumpstationsanläggningen för Sävån i nedan tabell.

Tabell 5. Uppskattad storlek på pumpstationen vid Sävån, baserad på "Hooglandgemall" som referens.

Parameter	Värde alternativ 1	Värde alternativ 2
Kapacitet	165 m ³ /s	30 m ³ /s
Kapacitet av enskild pump	Ca. 25 m ³ /s	15 m ³ /s
Mängd av pumpar	8 (1 pump extra i fall av bristande funktion)	3 (1 pump extra)
Beräknad bredd på pumpstation	8x10 m + 5 m för struktur av ändväggar = 85 m	3 x 10 m + 5 m ändväggar = 35 m
Beräknad längd på pumpstation	40 till 60 m	40 till 60 m



Figur 7. Förslag på placering av skyddsport och pumpstation i Sävåån. Bakgrundskarta: Google Maps.

3 STORA HAMNKANALEN OCH VALLGRAVEN

3.1 ANMÄRKNINGAR FÖR SKYDDSPORTAR I STORA HAMNKANALEN OCH VALLGRAVEN

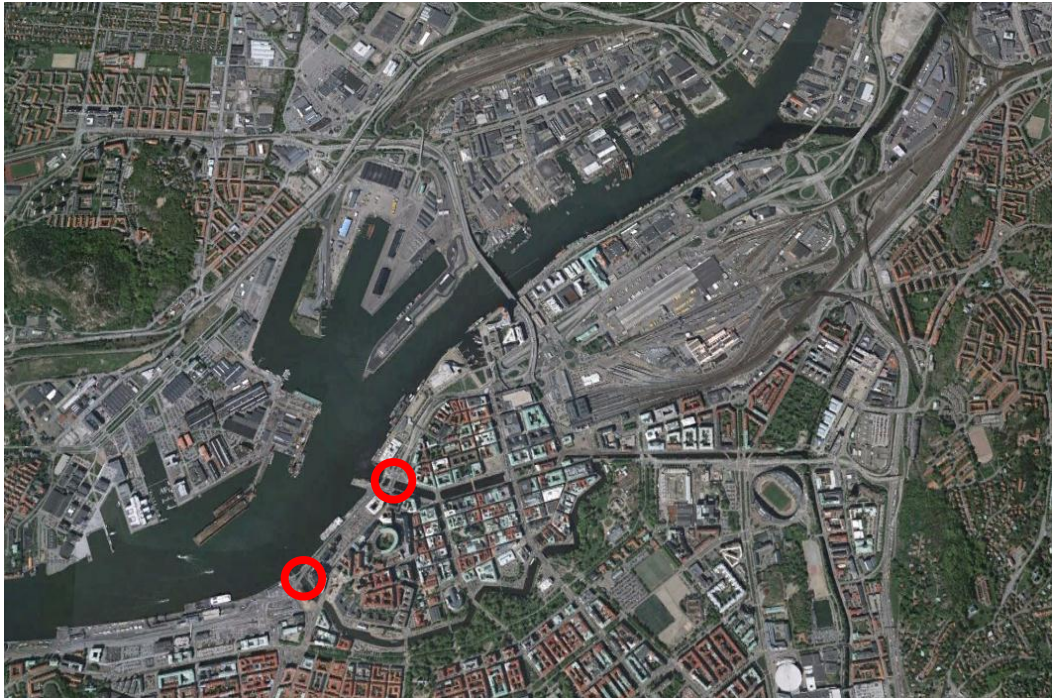
I samband med förstudiearbetet för skyddsportar i Stora Hamnkanalen och Vallgraven och utifrån diskussioner med Göteborgs Stad, bör följande punkter beaktas under det fortsatta arbetet:

- Alternativet att tillämpa skyddsportar för att skydda de inre vattenvägarna bör ses som en del i strategin att anlägga översvämningsskydd längs Göta älvs strand. Under fältbesök vid de fyra vattendragens utlopp noterades att älvens strand till stora delar utgörs av bebyggda områden med ett flertal byggnader nära vattenbrynet. Med tanke på strandområdenas karaktär och de framtida planerna för utveckling och exploatering av gamla hamn- och varvsområden, kan strategin att skydda de inre vattenvägarna med skyddsportar bli komplicerad. Det rekommenderas att inledningsvis genomföra en förstudie av hela det system som behöver översvämningssäkras innan mer detaljerade studier genomförs för skyddsportar.
- Broarna som är lokaliserade i närområdet har en mittenliggande pir/brygga. För att kunna rikta fartygstrafiken i linje med befintlig rutt bör skyddsportarna utformas med två öppningar med en skyddsport för vardera öppning.
- Förstudien omfattar inte några detaljerade beskrivningar av undervattenstrukturer eller fundament. Dessa komponenter utgör dock betydande delar i de totala kostnaderna för skyddsportarna.
- Beskrivning av anläggningens tröskelnivå baseras på krav för vattenföring och navigering. Vid framtida studier bör utbytet av salt och färskvatten (saltkil) vid Säveån beaktas.
- Anläggningarnas pålitlighet i drift bör studeras mer i detalj vid fortsatta studier. Särskild vikt bör läggas vid risken för den mänskliga felfaktorn (drift- och underhåll) samt risken för tekniska fel.
- I samband med föreslaget skyddsportsalternativ antas att själva portarna lyfts på plats med lyftanordning. Med anledning av att portarna för Stora Hamnkanalen och Vallgraven är av en lättare modell, bedöms lyftmomentet kunna utföras med landbaserade lyftkranar.

- Anläggandet av dessa skyddsportar kommer att ske i två relativt begränsade stadsområden. Detta erfordrar en väl genomtänkt planering av anläggningsskedet för att säkerställa en effektiv logistiklösning och minsta möjliga intrång i stadsmiljö och infrastruktur.
- Pumpkapaciteten för de två skyddsportarna är begränsad och bör kunna uppnås med endast en pump vid vardera skyddsport. Av säkerhetsmässiga skäl bör dock pumpanläggningarna utformas med två pumpar för respektive skyddsport.
- Förutsättningar för hantering och skötsel av anläggningen bör specificeras ytterligare. Detta gäller exempelvis temperaturskillnader och isläggningsförhållanden som kan råda under anläggningens driftperiod.
- Förutsättningarna för anläggande av skyddsporten bör undersökas ytterligare, särskilt avseende vilka tidsperioder på året som är bäst lämpade för anläggning, vindförhållanden, temperatur etc.

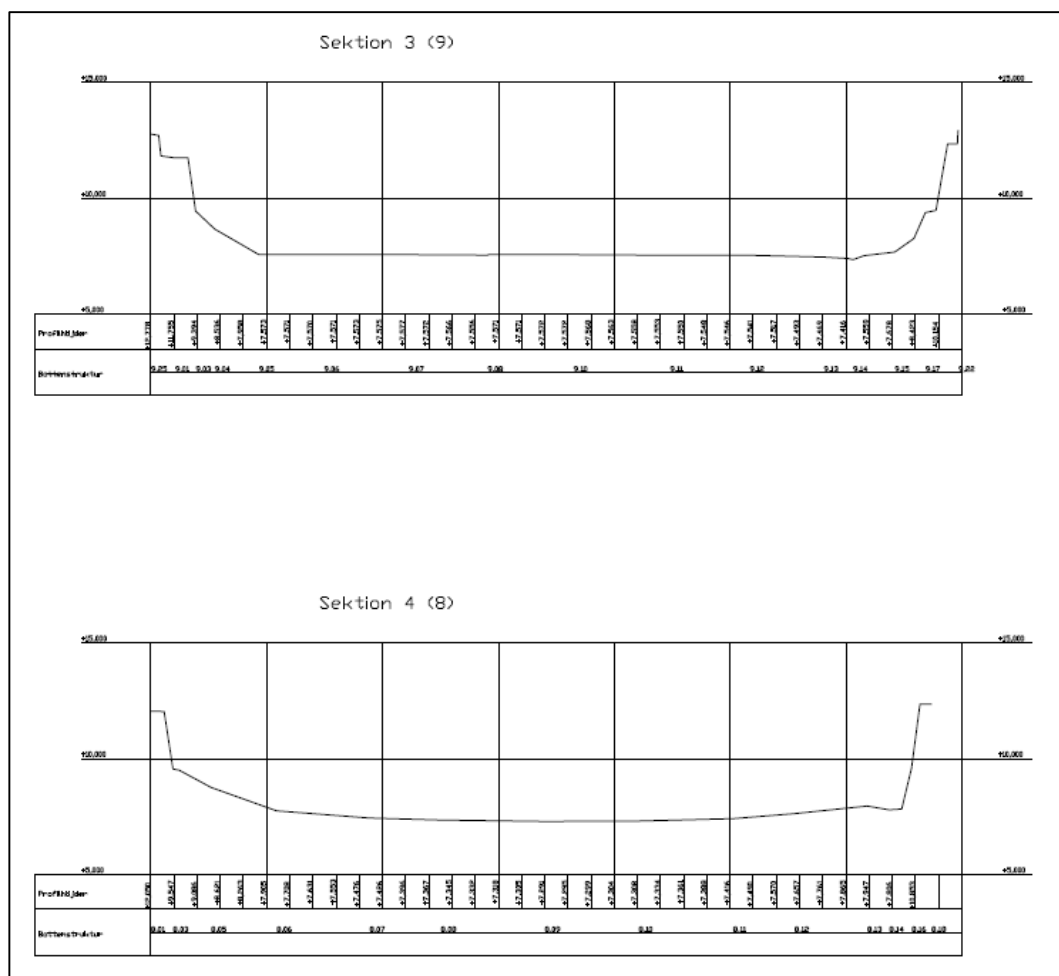
3.2 NUVARANDE FÖRHÅLLANDEN

Stora Hamnkanalen och Vallgraven är områden belägna i den historiskt värdefulla delen av centrala Göteborg.



Figur 8. Förslag på skyddsportarnas placering i Stora Hamnkanalen och Vallgraven.
Bakgrundskarta: Google Maps.

Enkla tvärsektioner av kanalerna presenteras i Figur 9 och Figur 10 nedan.



De flöden i Stora Hamnkanalen och Vallgraven som ska hanteras är, enligt uppgift från Stadsbyggnadskontoret cirka 5 m³/s.

Översiktlig geoteknisk information för skyddsportsplaceringen vid Stora hamnkanalen:

- Jordart: lös lera
- Djupt till berg: 10 – 15 m
- Odränerad skjuvhållfasthet av 20 kPa ned till 9 m, +1,3*z för djupare nivåer

Översiktlig geoteknisk information för skyddsportsplaceringen vid Vallgraven:

- Jordart: lös lera
- Djupt till berg: 30 m
- Odränerad skjuvhållfasthet av 18 kPa ned till 7 m, +1,0*z för djupare nivåer

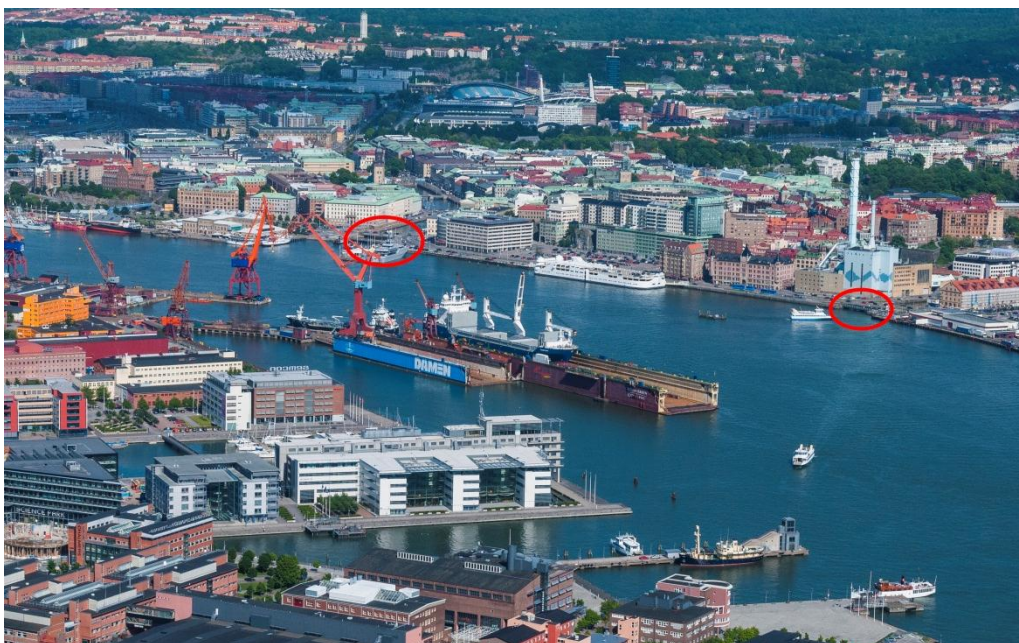
3.3 OPERATIV BESKRIVNING

Under normala förhållanden kommer skyddsportarna vid Stora Hamnkanalen och Vallgraven att vara öppna. Fritidsbåtar kommer att kunna åka fritt längs vattendragen.

Utifrån prognoser för högvattenflöde i Göta älv, kommer båda skyddsportarna att stängas vid behov. All fartygstrafik kommer då att stoppas. I skyddsportarnas närområde föreslås en pumpstation med kapacitet att bibehålla ett förbestämt pumpflöde för att hålla vattenståndet i Stora Hamnkanalen och Vallgraven på en acceptabel nivå.

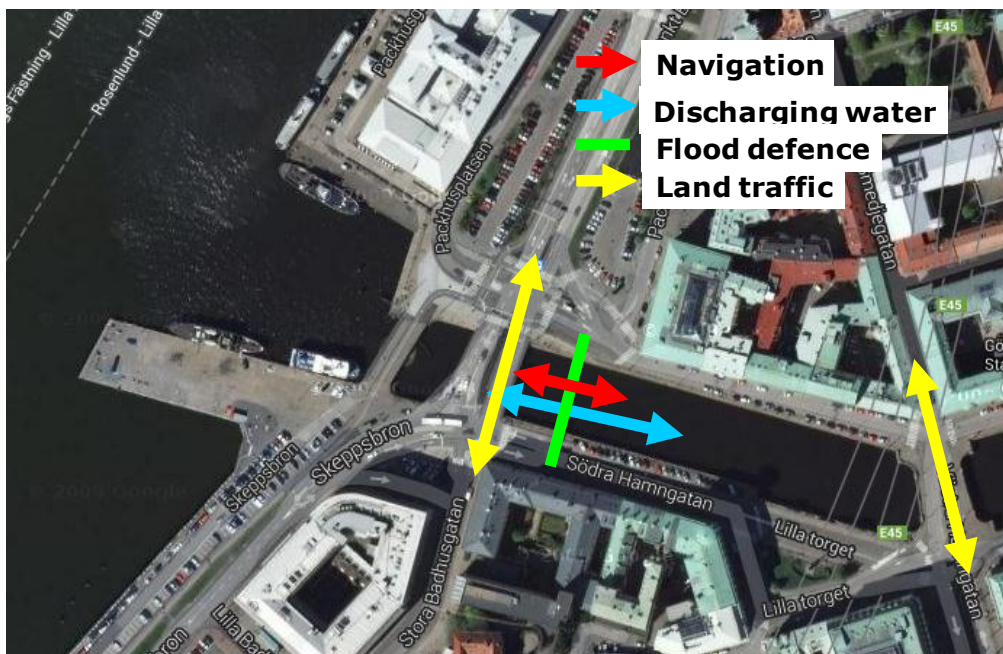
3.4 INVENTERING AV FUNKTIONER

Stora Hamnkanalen och Vallgraven ansluter till Göta älv från söder, mellan Stenpiren och Rosenlund, se figur nedan.

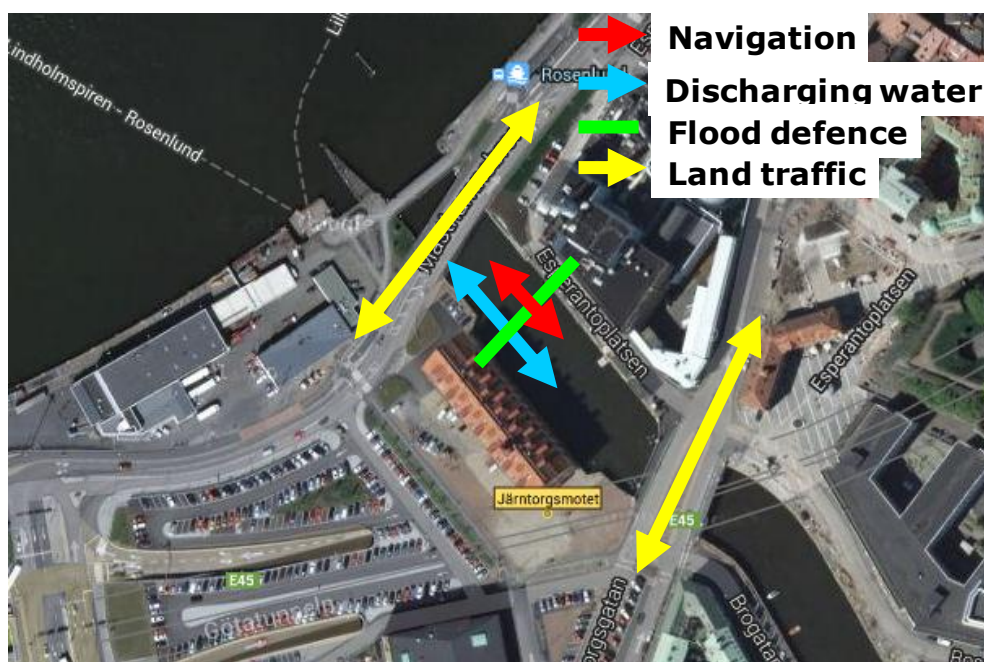


Figur 11. Flygbild över Göta älvs flöde i centrala Göteborg samt utloppen för Stora Hamnkanalen samt Vallgraven. Foto Mikael Svensson.

Följande figurer illustrerar föreslagen design och funktion vid skyddsportarna vid Stora Hamnkanalen och Vallgraven.



Figur 12. Föreslagen funktion i samband med en skyddsport vid Stora Hamnkanalen. Bakgrundskarta: Google Maps.



Figur 13. Föreslagen funktion i samband med en skyddsport vid Vallgraven. Bakgrundskarta: Google Maps.

Föreslagna skyddsportar kommer att medföra fördelar för följande aspekter:

- Översvämningsskydd
- Vattenförlösning till Göta älv
- Båtpassage
- Landtrafik

Avbrott i båttrafiken bedöms vara acceptabel, under förutsättning att det orsakas av höga vattenstånd i Göta älv. Däremot bör landbaserad trafik samt vattenflödet i området fungera som vanligt under dessa förhållanden.

Utöver utformningsaspekter för anläggningen bör följande beaktas:

- Strukturell säkerhet (MTO)
- Systemet i drift
- Driftsäkerhet av stängning och pumpstation
- Underhåll
- Estetik och landskapsbild
- Konstruktion
- Säkerhet
- Hållbarhet

3.5 KRAV OCH KRITERIER

En tabell med specificerade krav för Stora Hamnkanalen och Vallgraven bifogas i Bilaga 1. Kriterierna förklaras i Bilaga 2.

3.6 IDENTIFIERING OCH UTVÄRDERING AV ALTERNATIV

Ett antal alternativa lösningar för skyddsportar har identifierats. Urvalsprocessen baserades på en dialog mellan projektgruppen och beställaren, ett studiebesök vid Nederländska anläggningar samt erfarenhet från projekt i Nederländerna. Lösningarna som uppfyllde kraven (enl. Bilaga 1) valdes för vidare utvärdering.

Tabell 6. Alternativ för skyddsportar i Stora Hamnkanalen och Vallgraven.

Kod	Beskrivning	Resultat av utvärdering	Första bedömning	Andra bedömning
0	Nuvarande förhållanden; öppet utflöde till Göta älv. Befintliga kajer fungerar som översvämningsskydd i centrala Göteborg.	Uppfyller inte kravet F.1; skyddsnivå.	Valdes ej	-
1	Avstängt dämme med sluss för båtpassage och permanent pumpstation.	Ej lämplig utformning för att passa in i stadsbilden.	Valdes ej	-
2	Flyttbar barriär, ingen pumpstation	Inte tillräcklig avbördningskapacitet när portarna är avstängda.	Valdes ej	-
3a	Skyddsport i form av en "lifting gate" med pumpstation.	Passar inte in stadsmiljön, kräver stora lyfttorn.	Valdes ej	-
3b	Skyddsport i form av "mitre gate" med pumpstation.	Beroende på erforderlig öppningsbredd.	Krävs vidare utvärdering.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.
3c	Skyddsport i form av "Roller gate" med pumpstation.	Stabilitetsproblem kan uppstå vid starka strömningsförhållanden. Driftsäkerhet och underhåll bedöms bli ett bekymmer med anledning av strukturer (gångjärn) under vattenytan.	Krävs vidare utvärdering av stabilitet under stängning.	Valdes ej (se text nedan).
3d	Skyddsport i form av "Bottom hinged gate" med pumpstation.	Uppfyller alla krav, men driftsäkerhet och underhåll bedöms bli ett bekymmer med anledning av strukturer (gångjärn) under vattenytan.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	-
3e	Skyddsport i form av "Cylinder gate" (av typen Thames-barriär) med pumpstation.	Uppfyller alla krav, men driftsäkerhet och underhåll kan bli ett bekymmer då skyddsportar kommer vara nedsänkta i vattnet.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	-
3f	Skyddsport i form av en "inflatable gate" med pumpstation.	Kontrollera möjliga variationer för vattentryck; driftsäkerhet och underhåll kan bli ett bekymmer då skyddsportar kommer vara nedsänkta i vattnet.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	Valdes ej (se text nedan).
3g	Skyddsport i form av en "bottom hinged gate", inkluderar upplåsbare komponenter (Obermeyer gate).	Se alternativ 3f ovan.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	Valdes ej (se text nedan).

Alternativ 3b, 3c, 3f och 3g kräver en fördjupad analys för utvärdering.

Alternativ 3b innebär en flyttbar barriär med s.k. "mitre gates". Denna typ av port är tillämplig för en strukturbredd på upp till cirka 15m, medan bredden av både Stora Hamnkanalen och Vallgraven är ca 30 m. Med en centerstruktur skulle det vara möjligt att ha två öppningar på 12 m vardera, vilket är tillräckligt för denna typ av skyddsport. Ett hydrostatiskt tryck på ca 3,5 m i både Stora Hamnkanalen och Vallgraven är förenligt med detta skyddsportsalternativ. Som referens kan nämnas att dessa förhållanden är gällande exempelvis i Maasbrachtslussen (Nederländerna).

Detta koncept är i linje med den historiska stadsmiljön i området, som för övrigt designats av Nederländerare en gång i tiden. En kritisk aspekt att beakta är portarnas stängnings- och öppningsprocess, då plötslig höjning eller sänkning av vattennivån kan orsaka kraftig strömning. Därav blir valet av drivmekanism viktigt att beakta.

Alternativ 3c innefattar s.k. "roller gates", vilka rör sig i sidled på spår som är förlagda på botten av vattendraget. I dess stängda fas, är denna typ av skyddsport känslig för strömningpåverkan. Ett tillräckligt högt flöde kan lyfta porten ur sitt spår och därmed förhindra fortsatt användande. Vid extremfall riskerar skyddsporten även att lossna helt. Av samma skäl bedöms detta alternativ inte vara aktuellt för vidare studier.

Alternativ 3f och 3g baseras på uppblåsbara komponenter som ligger under vattenytan. Alla alternativ som har drivkomponenter under vattenytan, speciellt uppblåsbara, innebär risk för driftstörning och mer komplicerad underhåll. Med anledning av detta utesluts uppblåsbara alternativ i den fortsatta studien.

Följande tabell visar återstående alternativ för Stora Hamnkanalen och Vallgraven.

Tabell 7. Återstående alternativ för Stora Hamnkanalen och Vallgraven efter verifiering mot kravkriterier.

Kod	Beskrivning	Resultat av utvärdering	Första bedömning	Andra bedömning
3b	Skyddsport i form av "Mitre gate" med pumpstation.	Beroende på erforderlig öppningsbredd.	Krävs vidare utvärdering.	Valdes med risker i beaktande.
3d	Skyddsport i form av "Bottom hinged gate" med pumpstation.	Uppfyller alla krav, men driftsäkerhet och underhåll kan bli ett bekymmer då skyddsportar kommer vara nedsänkta i vattnet.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	-
3e	Skyddsport i form av "Cylinder gate" (av typen Thames-barriär) med pumpstation.	Uppfyller alla krav, men driftsäkerhet och underhåll kan bli ett bekymmer då skyddsportar kommer vara nedsänkta i vattnet.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	-

3.7 MULTIKRITERIEANALYS AV ÅTERSTÅENDE ALTERNATIV

Tabell 8. Multikriterieanalys av återstående alternativ för Stora Hamnkanalen och Vallgraven.

Kriterier	Alternativ		
	3b, Skyddsport i form av "mitre gates" med en eller två öppningar och pumpstation.	3d, "Bottom hinged gates" och pumpstation.	3e, "Cylinder gate" (av typen Thames-barriär) och pumpstation.
Pålitlighet som översvämningsskydd	0	0	0
Pålitlighet gällande pumpstation	-	-	-
Komplexitet i drift	+	-	-
Risk under konstruktion	0	0	0
Miljöpåverkan	0	0	0
Energiförbrukning	0	0	0
Påverkan på kringliggande stadsmiljö	+	0	0
<u>Totalt (utan viktning)</u>	+1	-2	-2
<u>Beräknad kostnad (rankning)</u>	1	2	3
<u>Slutlig utvärdering</u>	Möjligt. En fundamental aspekt att beakta är stängningsmekanism.	Möjligt, accepterad komplexitet i drift.	Möjligt, accepterad komplexitet i drift.

Alternativ 3b får högst betyg och bedöms medföra lägst kostnad, varför detta väljs som ett förstahandsalternativ. På en mer detaljerad nivå, uppvisar alternativ 3b störst möjlighet att kunna integreras i stadsbilden, då anläggningen kan utformas med historisk design. Alternativ 3d och 3e kommer inte att kunna integreras lika väl i stadsbilden då dessa medför att anläggningarna kommer att döljas så långt möjligt.

3.8 FÖRESLAGEN UTFORMNING AV SKYDDSPORTSALTERNATIV

Det valda alternativet för Stora Hamnkanalen och Vallgraven är skyddsportar i form av "mitre gates".



Figur 14. Befintliga "mitre gates" i slussen vid Drottningtorget i Göteborg. Foto Ross Carnegie.

Villkoren för förstudiens principlösning finns i Bilaga 3. Beräknade dimensioner för skyddsportarna framgår nedan.

Tabell 9. Beräknade dimensioner för skyddsportarna i Stora Hamnkanalen och Vallgraven.

Parameter	Värde	Kommentar
Öppningar	1	Så länge att det är tekniskt rimligt, är det mest ekonomiskt fördelaktigt att använda så få öppningar som möjligt.
Bredd på öppningen	12 m	Är beroende av vilken bredd som erfordras för dubbelriktad båtpassage. Vid ett flöde av 5 m ³ /s är vattenhastigheten bara 0,2 m/s, varför en större flödesöppning inte är nödvändig.
Bottenivå i öppningen	3,25 m under medelvattenytan	Är beroende av vilken bredd som erfordras för dubbelriktad båtpassage.
Toppnivå för stängd port	4 – 5, 5 m ovan normal vattennivå.	Dimensionerad vattenyta är 3,5 m över medelvattenytan. Beroende på acceptabelt bräddningsflöde, bör fribord vara 0,5 m till 2 x vind/våghöjd.
Total porthöjd	8,5 m	Baserad på en toppnivå av 5 m över medelvattenytan
Fri höjd	Obegränsad	-
Portvikt	27 t per port (2 portar per öppning)	-
Drivmekanism	Inte bestämt	Hydraulcylindrar tillämpligt
Pumpkapacitet	5 m ³ /s	Installeras i sidostöden, två pumpar med innerdiameter på ca 1 – 1,5 m.

4 KVILLEBÄCKEN

4.1 ANMÄRKNINGAR FÖR SKYDDSPORTAR I KVILLEBÄCKEN

I samband med förstudiearbetet för skyddsport i Kvillebäcken och utifrån diskussioner med Göteborgs Stad, bör följande punkter beaktas under det fortsatta arbetet:

- Alternativet att tillämpa skyddsportar för att skydda de inre vattenvägarna bör ses som en del i strategin att anlägga översvämningsskydd längs Göta älvs strand. Under fältbesök vid de fyra vattendragens utlopp noterades att älvens strand till stora delar utgörs av bebyggda områden med ett flertal byggnader nära vattenbrynet. Med tanke på strandområdenas karaktär och de framtida planerna för utveckling och exploatering av gamla hamn- och varvsområden, kan strategin att skydda de inre vattenvägarna med skyddsportar bli komplicerad. Det rekommenderas att inledningsvis genomföra en förstudie av hela det system som behöver översvämningssäkras innan mer detaljerade studier genomförs för skyddsportar.
- Förstudien omfattar inte några detaljerade beskrivningar av undervattenstrukturer eller fundament. Dessa komponenter utgör dock betydande delar i de totala kostnaderna för skyddsporten. För Kvillebäcken antas dock belastningarna på dessa strukturer bli relativt låga.
- Anläggningarnas pålitlighet i drift bör studeras mer i detalj vid fortsatta studier. Särskild vikt bör läggas vid risken för den mänskliga felfaktorn (drift- och underhåll) samt risken för tekniska fel.
- I samband med föreslaget skyddsportsalternativ antas att själva portarna lyfts på plats med lyftanordning. Med anledning av att porten för Kvillebäcken är av en lättare modell, bedöms lyftmomentet kunna utföras med landbaserade lyftkranar.
- Skyddsporten kommer att anläggas i ett område som i framtiden kan komma att omvandlas inom de närmaste åren. Den design som föreslås i denna förstudie har gjorts utifrån befintliga förhållanden, med fokus på inom närtiden åstadkomma ett förstärkt översvämningsskydd till en begränsad kostnad. En mer permanent lösning (som exempelvis kan möjliggöra båttrafik i Kvillebäcken) kan med fördel beaktas vid de framtida planerna för stadsplanering i Göteborg.
- Pumpkapaciteten för skyddsporten är begränsad och bör kunna uppnås med endast en pump vid skyddsporten. Av säkerhetsmässiga skäl bör dock pumpanläggningen utformas med två pumpar.

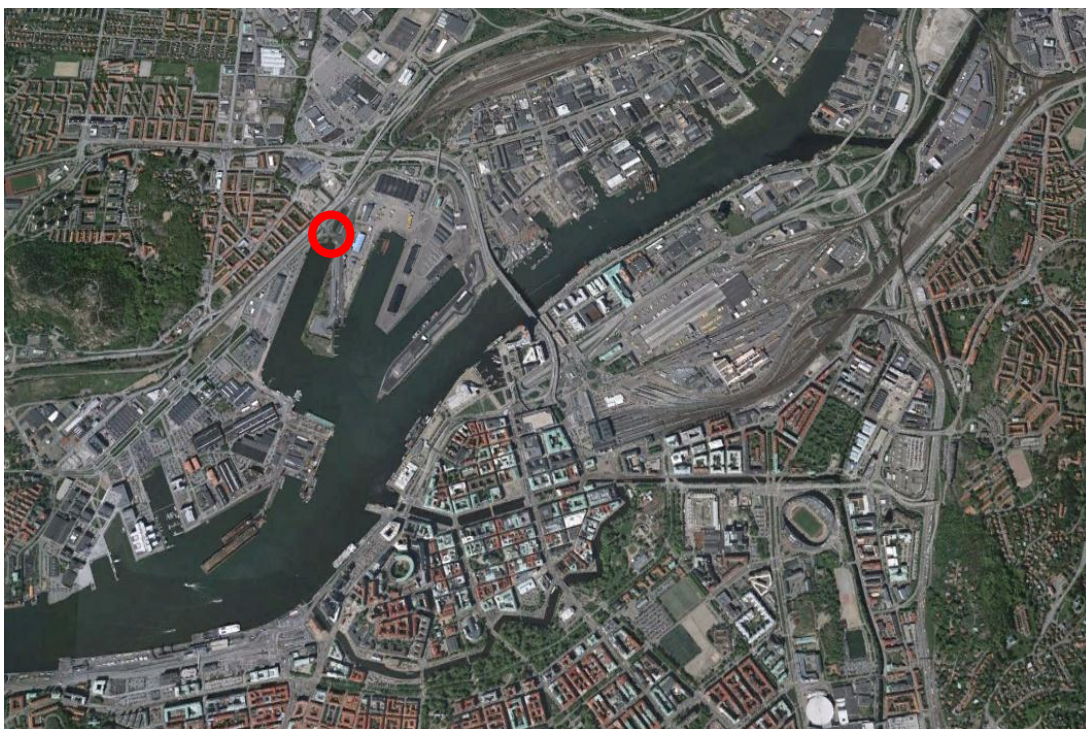
- Förutsättningar för hantering och skötsel av anläggningen bör specificeras ytterligare. Detta gäller exempelvis temperaturskillnader och isläggningsförhållanden som kan råda under anläggningens driftperiod.
- Förutsättningarna för anläggande av skyddsporten bör undersökas ytterligare, särskilt avseende vilka tidsperioder på året som är bäst lämpade för anläggning, vindförhållanden, temperatur etc.

4.2 NUVARANDE FÖRHÅLLANDEN

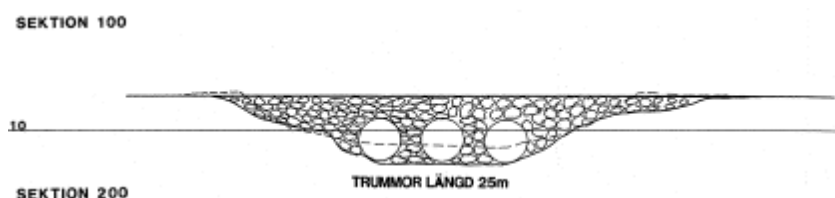
Kvillebäcken är ett mindre vattendrag vilket har sin mynning till Göta älv inom ett gammalt hamn- och industriområde, se figurer nedan.



Figur 15. Kvillebäckens utflöde i Göta älv. Foto: Mats Andréasson.



Figur 16. Föreslagen placering av skyddsport vid Kvillebäcken. Bakgrundskarta: Google Maps.



Figur 17. Föreslagen sektion vid skyddsportsanläggningen.

För närvarande är vattendraget avstängt med ett dämme med utlopp genom tre betongtrummor till Göta älv. Trummornas dimension är ca 2,5 m och det dimensionerande flödet i Kvillebäcken är 5 m³/s.

4.3 OPERATIV BESKRIVNING

Under normala förhållanden är trummorna i Kvillebäcken öppna till Göta älv. Båtpassage kommer inte att vara möjlig mellan Kvillebäcken och Göta älv.

Utifrån prognoser för högvattenflöde i Göta älv, kommer skyddsporten att stängas vid behov. I skyddsportens närområde föreslås en pumpstation med kapacitet att bibehålla ett förutbestämt flöde för att hålla vattenståndet i Kvillebäcken på en acceptabel nivå. Med anledning av att förhållandena för Kvillebäcken kan komma att förändras i samband med framtida ombyggnation av området, har aspekten "båttrafik" inte beaktats. Detta under förutsättning att skyddsportens läge flyttas längre ut mot Göta älv.

4.4 INVENTERING AV FUNKTIONER



Figur 18. Figuren visar föreslagen funktion i samband med en skyddsport i Kvillebäcken. Bakgrundskarta: Google Maps.

Nedanstående figur visualiserar tilltänkta funktioner i samband med en skyddsport i Kvillebäcken;

- Översvämningsskydd
- Vattenföring till Göta älv
- Landtrafik

Störningar i landbaserad trafik och störningar i vattendragets flöde bedöms inte vara acceptabla.

Utöver utformningsaspekter för anläggningen bör följande aspekter beaktas:

- Strukturell säkerhet (MTO)
- Systemet i drift
- Driftsäkerhet av stängning och pumpstation
- Underhåll
- Estetik, arkitektur och landskapsbild
- Konstruktion
- Säkerhet
- Hållbarhet

4.5 KRAV OCH KRITERIER

En tabell med krav för en skyddsport i Kvillebäcken finns bifogad i Bilaga 1. Kravkriterier förklaras i Bilaga 2.

4.6 IDENTIFIERING OCH UTVÄRDERING AV ALTERNATIV

Ett antal alternativa lösningar för skyddsport har identifierats. Urvalsprocessen baserades på en dialog mellan projektgruppen och beställaren, ett studiebesök vid Nederländska anläggningar samt erfarenhet från projekt i Nederländerna. Lösningarna som uppfyllde kraven (enl. Bilaga 1) valdes för vidare utvärdering.

Kvillebäcken skiljer från övriga platser där skyddsportar föreslås eftersom det i detta fall inte handlar om en öppen kanal, utan ett dämme med tre trummor vilka förbinder Kvillebäcken med Göta älv. I Tabell 10 redovisas alternativa lösningar med och utan dämme.

Tabell 10. Alternativ för skyddsport i Kvillebäcken.

Kod	Beskrivning	Resultat av utvärdering	Första bedömning	Andra bedömning
0	Nuvarande förhållanden; öppet utflöde till Göta älv. Befintliga översvämningsskydd längst Kvillebäckens strand.	Uppfyller inte kravet F.1; skyddsnivå.	Valdes ej.	-
1	Avstängt dämme med permanent pumpstation	Uppfyller alla krav.	Valdes.	-
2	Flyttbar skyddsport utan pumpstation.	Uppfyller inte krav för utflöde när porten är stängd.	Valdes.	-
3a	Anläggningen innefattar lyftport och pumpstation.	Uppfyller alla krav.	Valdes.	-
3b	"Mitre gates" och pumpstation föreslås.	Beror på krav på anläggningens bredd.	Krävs vidare utvärdering.	Valdes med risker i beaktande.
3c	"Roller gates" och pumpstation föreslås.	Instabil lösning vid stängning under strömmande förhållanden. Driftsäkerhet och underhåll ett bekymmer med anledning av strukturer (spår) under vattenytan.	Krävs vidare utvärdering av stabilitet under stängning.	Valdes ej (se text nedan).
3d	"Bottom hinged gates" och pumpstation föreslås.	Uppfyller alla krav, men driftsäkerhet och underhåll bedöms bli ett bekymmer med anledning av strukturer (gångjärn) under vattenytan.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	-
3e	Skyddsport i form av "Cylinder gate" (av typen Thames-barriär) med pumpstation föreslås.	Uppfyller alla krav, men driftsäkerhet och underhåll bedöms bli ett bekymmer då porten behöver sänkas i vattnet.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	-
3f	Skyddsanordning i form av "inflatable gate" med pumpstation föreslås.	Behövs kontroll av acceptabel variation i vattentryck; driftsäkerhet och underhåll bedöms bli ett bekymmer då porten behöver sänkas i vattnet.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	Valdes ej (se text nedan).
3g	Skyddsport i form av "bottom hinged gate", vilket innefattar uppblåsbara komponenter (Obermeyer gate), föreslås.	Se alternativ 3f ovan.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	Valdes ej (se text nedan)
4a	Dämmet behålls. Installation av självstängande, vertikal svängbar port i anslutning till befintliga trummor.	Uppfyller alla krav.	Valdes.	-
4b	Dämmet behålls. Installation av en mindre lyftport i anslutning till befintliga trummor.	Uppfyller alla krav.	Valdes.	-

Alternativ 3b, 3c, 3f och 3g kräver en fördjupad analys för utvärdering.

Alternativ 3b innebär en flyttbar barriär med s.k. "mitre gates". Denna typ av port är tillämplig för en strukturbredd på upp till cirka 15 m, medan bredden av Kvillebäcken är ca 10 m, vilket är tillräckligt för denna typ av skyddsport.

Alternativ 3c innefattar s.k. "roller gates", vilka rör sig i sidled på spår som är förlagda på botten av vattendraget. I dess stängda fas, är denna typ av skyddsport känslig för strömningspåverkan. Ett tillräckligt högt flöde kan lyfta porten ur sitt spår och därmed förhindra fortsatt användande. Vid extremfall riskerar skyddsporten även att lossna helt. Av samma skäl bedöms detta alternativ inte vara aktuellt för vidare studier.

Alternativ 3f och 3g baseras på uppblåsbara komponenter som ligger under vattenytan. Alla alternativ som har drivkomponenter under vattenytan, speciellt uppblåsbara, innebär risk för driftstörning och mer komplicerad underhåll. Med anledning av detta utesluts uppblåsbara alternativ i den fortsatta studien.

Alternativ 4a och 4b är specifikt anpassade för Kvillebäcken och i förslagen har hänsyn tagits till befintligt dämme och trummor.

Följande tabell visar återstående alternativ för Kvillebäcken.

Tabell 11. Återstående alternativ för Kvillebäcken efter verifiering mot kravkriterier.

Kod	Beskrivning	Resultat av utvärdering	Första bedömning	Andra bedömning
1	Avstängt dämme med permanent pumpstation.	Uppfyller inte kravet F.1; skyddsnivå.	Valdes ej	-
3a	Inkluderar lyfttorn och pumpstation.	Uppfyller alla krav.	Valdes	-
3b	"Mitre gate" och pumpstation föreslås.	Beroende på krav av öppningen	Krävs vidare utvärdering	Valdes med risker i beaktande.
3d	"Bottom hinged gates" och pumpstation föreslås.	Uppfyller alla krav fast driftsäkerhet och underhåll ett bekymmer eftersom delar som gångjärn finns under vattenytan	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	-
3e	Skyddsport i form av "Cylinder gate" (av typen Thames-barriär) med pumpstation föreslås.	Uppfyller alla krav fast driftsäkerhet och underhåll ett bekymmer eftersom själv porten är nedsänkt.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	-
3f	Skyddsanordning i form av "inflatable gate" med pumpstation föreslås.	Kontrollera spann av möjligt vattentryck; driftsäkerhet och underhåll ett bekymmer eftersom själv porten är nedsänkt.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	Valdes ej (se text nedan).
3g	Skyddsport i form av "bottom hinged gate", vilket innefattar uppblåsbara komponenter (Obermeyer gate), föreslås.	Se alternativ 3f ovan.	Valdes med riskfaktorer i beaktande.	Valdes ej (se text nedan).
4a	Dämnet behålls. Installation av självstängande, vertikal svängbar port i anslutning till befintliga trummor.	Uppfyller alla krav.	Valdes.	-
4b	Dämnet behålls. Installation av en mindre lyftport i anslutning till befintliga trummor.	Uppfyller alla krav.	Valdes.	-

4.7 MULTIKRITERIEANALYS AV ÅTERSTÅENDE ALTERNATIV

Kvillebäcken skiljer sig från övriga vattendrag. I ett första skede bör ett beslut tas huruvida befintligt dämme och trummor bör hanteras. De alternativ som innefattar att avlägsna dämnet (vilket styrs av flödeskapaciteten genom trummorna) visar sig medföra högre kostnader än övriga alternativ. Storleken på skyddsporten skulle dessutom behöva vara större. Grupp 3-alternativen kan dock vara realistiska under förutsättning att båttrafik önskas tillåtas. Området kring Kvillebäcken kommer att utvecklas i framtiden. Eventuellt kan Kvillebäckens utlopp komma att flyttas. Med anledning av detta blir alternativen i grupp 3 inte realistiska att föreslå.

Återstående alternativ redovisas nedan.

Tabell 12. Multikriterieanalys av återstående alternativ för Kvillebäcken.

Kriterier	Alternativ		
	1, Avstängt dämme med permanent pumpstation.	4a, Dämnet behålls. Installation av självstängande, vertikal svängbar port i anslutning till befintliga trummor.	4b, Dämnet behålls. Installation av mindre lyftport i anslutning till befintliga trummor.
Pålitlighet som översvämningsskydd	+	-	0
Pålitlighet gällande pumpstation	+	-	-
Komplexitet i drift	+	-	+
Risk under konstruktion	0	0	0
Miljöpåverkan	-	-	0
Energiförbrukning	-	+	+
Påverkan på kringliggande stadsmiljö.	0	0	0
<u>Totalt (utan viktning)</u>	+1	-3	+1
<u>Beräknad kostnad (rankning)</u>	3	1	2
<u>Slutlig utvärdering</u>	Valdes ej. Hög kostnad och hög driftkostnad	Möjligt alternativ. Självstängande portar är ett beprövat koncept i Nederländerna. Dock finns risker gällande pålitlighet och systemet är mycket underhållskrävande.	Möjligt. Mest pålitliga alternativet.

I ett tekniskt funktionellt perspektiv visar sig alternativ 1 vara det mest realistiska. Alternativet medför dock störst miljöpåverkan av alternativen och därmed tillhörande kompensationskostnader.

Alternativ 4a är en beprövad lösning i Nederländerna, men är samtidigt en föråldrad typ av lösning.



Figur 19. Exempel på "Guard door" i anknytning till en historisk vattenpump/väderkvarn i Nederländerna (Zuid-Schermer).

Skyddsporten öppnas automatiskt när det finns en tryckskillnad mot älven. Om vattentrycksskillnaden går åt andra hållet, stängs porten. Avstängning av vattendraget är dock inte önskvärt, sett ur ett miljöperspektiv. Därtill finns osäkerhet gällande skyddsportens pålitlighet under stängning, då skräp och ovidkommande objekt kan blockera flödesgången. I Nederländerna har denna typ av lösning endas används i kombination med andra lösningar, som en lyftport.

Alternativ 4b är dyrare än 4a att installera men bedöms ändå vara ett bättre val eftersom pålitlighet samt drifts- och underhållskostnader är betydligt bättre. Drift av porten kan antingen automatiseras eller skötas manuellt.

4.8 FÖRESLAGEN UTFORMNING AV SKYDDSPORTSALTERNATIV

För Kvillebäcken föreslås alternativ 4b, där dämnet lämnas kvar och en mindre variant av lyftport installeras vid befintliga trummor, se figur nedan.



Figur 20. Exempel på lyftport (Dussen, Nederländerna).

Villkoren för förstudiens principlösning återfinns i Bilaga 1. Beräknade dimensioner för portarna framgår nedan.

Tabell 13. Beräknade dimensioner för skyddsport i Kvillebäcken.

Parameter	Värde	Kommentar
Öppningar	3	Använd befintliga trummor.
Öppningsdimension	2,5 m	Befintlig innerdiameter.
Bottennivå i öppningen	Okänd	Befintlig vattengång.
Total skyddsportdimension	2,5 m	Fyrkantiga eller runda portar.
Drivmekanism	Inte bestämt	Hydraulcylindrar tillämpligt.
Pumpkapacitet	5 m ³ /s	Pumpar bör installeras i en separat anläggning intill befintliga trummor med kapacitet delad mellan två pumpar för driftssäkerhet. Innerdiameter på pumpen bedöms vara ca 1 m.

5 SAMMANFATTANDE KOSTNADSUPPSKATTNING AV SKYDDSÅTGÄRDER

En kostnadsuppskattning har genomförts för de skyddsportsalternativ som valts i förstudien, se Bilaga 7. Kostnadsuppskattningen sammanfattas i följande kapitel.

I kostnadsuppskattningen har följande aspekter inte inkluderats:

- Kostnader för marklösen
- Projekteringskostnader
- Tillkommande kostnader så som tillståndsärenden, kompensationsåtgärder, försäkringar etc.
- Kostnader för el- och serviceledningar etc.
- Kostnader för hantering av anläggningsområdet (tillgång, logistik etc.) under och efter anläggandet
- Arkitekturstkostnader

För utförligare beskrivning av kostnadsstudiens avgränsningar och förutsättningar, se Bilaga 7. En särskild kostnadsstudie har utförts för en pumpstation vid Säveån, se Bilaga 8.

5.1 SÄVEÅN

En uppskattning har gjorts av kostnaden för att anlägga en skyddsport ("lifting gate" – lyftport) vid Säveåns utlopp till Göta älv.

5.1.1 SKYDDSPORT

I följande tabell följer en uppskattning av kostnader för en skyddsportsanläggning, uppdelat i kostnader för delkomponenter samt en total kostnad.

Komponent	Kostnad (Euro)	Kostnad (SEK ³)
Lyftportar	2 560 000	23 040 000
Uppströms bottenskydd	345 000	3 105 000
Nedströms bottenskydd	345 000	3 105 000
Förhindring av läckage under/vid sidan av konstruktionen	1 515 500	13 639 500
Under- och övervattensstruktur	2 035 000	18 315 000
Byggnadsgrop	1 050 000	9 450 000
Fundament	1 870 000	16 830 000
Total kostnad för skyddsport	9 720 500 EUR	87 484 500 SEK

³ Säljkurs 2013-12-0, 1 EUR ≈ 9 SEK.

5.1.2 PUMPSTATION

En bedömning har gjorts av kostnader för en pumpstation inkl. reservkraftsförsörjning för en skyddsport (lyftbar port) i Sävån.

En pumpstation med kapacitet att hantera ett flöde på 30 m³/s bedöms kosta ca **100 000 000 SEK**.

En pumpstation med kapacitet att hantera ett flöde på 165 m³/s bedöms kosta ca **400 000 000 kr**.

5.1.3 SAMMANLAGD KOSTNAD FÖR SKYDDSPORT I SÄVEÅN

Kostnaden för en skyddsport samt en pumpstation (pumpkapacitet 30 m³/s) vid Sävån bedöms bli i storleksordningen **≈ 200 miljoner kr**.

Kostnaden för en skyddsport samt en pumpstation (pumpkapacitet 165 m³/s) vid Sävån bedöms bli i storleksordningen **≈ 490 miljoner kr**.

5.2 STORA HAMNKANALEN

En uppskattning har gjorts av kostnader för en skyddsport ("mitre gate" – traditionell slussport med sidoluckor) samt en pumpstation inkl. reservkraftsförsörjning i Stora Hamnkanalens utlopp till Göta älv.

5.2.1 SKYDDSPORT

I följande tabell följer en uppskattning av kostnader för skyddsportsanläggning, uppdelat i kostnader för komponenter samt en total kostnad.

Komponent	Kostnad (Euro)	Kostnad (SEK ⁴)
Portar	670 000	6 030 000
Uppströms bottenkydd	260 000	2 340 000
Nedströms bottenkydd	260 000	2 340 000
Förhindring av läckage under/vid sidan av konstruktionen	1 434 500	12 910 500
Under- och övervattensstruktur	1 173 000	10 557 000
Byggnadsgrop	480 000	4 320 000
Fundament	84 000	756 000
Total kostnad för skyddsport	4 361 500 EUR	39 253 500 SEK

⁴ Säljkurs 2013-12-0, 1 EUR ≈ 9 SEK.

5.2.2 PUMPSTATION

En pumpstation med kapacitet att hantera ett flöde på 5 m³/s bedöms kosta ca **40 000 000 SEK**.

5.2.3 SAMMANLAGD KOSTNAD FÖR SKYDDSPORT VID STORA HAMNKANALEN

Kostnaden för en skyddsport samt en pumpstation inkl. reservkraftförsörjning vid Stora Hamnkanalen bedöms bli i storleksordningen **≈ 80 miljoner kr**.

5.3 VALLGRAVEN

En uppskattning har gjorts av kostnader för en pumpstation inkl. reservkraftförsörjning för en skyddsport ("mitre gate" – traditionell slussport med sidoluckor) vid Vallgravens utlopp till Göta älv.

5.3.1 SKYDDSPORT

I följande tabell följer en uppskattning av kostnader för skyddsportsanläggning i Vallgraven, uppdelat i kostnader för komponenter samt en totalkostnad.

Komponent	Kostnad (Euro)	Kostnad (SEK ⁵)
Lyftportar	670 000	6 030 000
Uppströms bottenskydd	260 000	2 340 000
Nedströms bottenskydd	260 000	2 340 000
Förhindring av läckage under/vid sidan av konstruktionen	1 434 500	12 910 500
Under- och övervattensstruktur	1 173 000	10 557 000
Byggnadsgrop	480 000	4 320 000
Fundament	164 000	1 476 000
Total kostnad för skyddsport	4 441 500 EUR	39 973 500 SEK

5.3.2 PUMPSTATION

En pumpstation med kapacitet att hantera ett flöde på 5 m³/s bedöms kosta ca **40 000 000 kr**.

⁵ Säljkurs 2013-12-0, 1 EUR ≈ 9 SEK.

5.3.3 SAMMANLAGD KOSTNAD FÖR VALLGRAVEN

Kostnaden för en skyddsport samt en pumpstation vid Vallgraven bedöms bli i storleksordningen **≈ 80 miljoner kr.**

5.4 KVILLEBÄCKEN

En uppskattning har gjorts av kostnader för en pumpstation inkl. reservkraftförsörjning för en skyddsport ("lifting gate" - en mindre variant av lyftport) i Kvillebäcken.

5.4.1 SKYDDSPORT

I följande tabell följer en uppskattning av kostnader för en skyddsportsanläggning, uppdelat i kostnader för komponenter samt en totalkostnad.

Komponent	Kostnad (Euro)	Kostnad (SEK ⁶)
Lyftportar	0	0
Uppströms bottenskydd	0	0
Nedströms bottenskydd	0	0
Förhindring av läckage under/vid sidan av konstruktionen	1 284 500	11 560 500
Under- och övervattensstruktur	368 000	3 312 000
Byggnadsgrop	0	0
Fundament	120 000	1 080 000
Total kostnad för skyddsport	1 772 500 EUR	15 952 500 SEK

5.4.2 PUMPSTATION

En pumpstation med kapacitet att hantera ett flöde på 5 m³/s bedöms kosta ca **40 000 000 kr.**

5.4.3 SAMMANLAGD KOSTNAD FÖR ANLÄGGNING

Kostnaden för en skyddsport samt en pumpstation vid Kvillebäcken bedöms bli i storleksordningen **≈ 56 miljoner kr.**

⁶ Säljkurs 2013-12-0, 1 EUR ≈ 9 SEK.

5.5 TOTAL KOSTNAD FÖR ANLÄGGANDE AV SKYDDSPORTAR

En bedömning är att anläggande av de fyra skyddsportarna (exklusive pumpstationer) sammanlagt skulle kosta totalt ca **186 miljoner kr.**

Om kostnader för pumpstationer (inkl. reservkraftförsörjning) inkluderas i priset, bedöms den totala kostnaden för alla skyddsportar bli totalt ca **706 miljoner kr.**

6 GÖTEBORG – EN MÖJLIG STORSKALIG LÖSNING

Som ett alternativ/komplement till ovanstående studie av skyddsportar för de inre vattenvägarna, följer här ett förslag till ett möjligt angreppssätt för en storskalig lösning. En storskalig lösning skulle medföra att flödet i Göta älv, om möjlig, avleds mot Nordre älv i första hand. Detta medför tre möjliga alternativ:

- **Två barriärer** - En barriär vid Älvsborgsbron i Göteborgs hamninlopp samt en barriär vid Kungälv (i Göta älv). Allt vatten avleds mot Nordre älv.
- **Två barriärer** - En barriär vid Älvsborgsbron i Göteborgs hamninlopp samt en barriär vid Ormo (i Nordre älv). Prognosstyrning samt överpumpning av vatten vid en högvattensituation vid Ormo och/eller vid Älvsborgsbron.
- **Tre barriärer** - En barriär vid Älvsborgsbron i Göteborgs hamninlopp, en barriär vid Kungälv (i Göta älv) samt en barriär vid Ormo (i Nordre älv).

Samtliga alternativ innebär att samhällen i kommunerna Kungälv, Ale och Lilla Edet måste skyddas mot översvämningar.

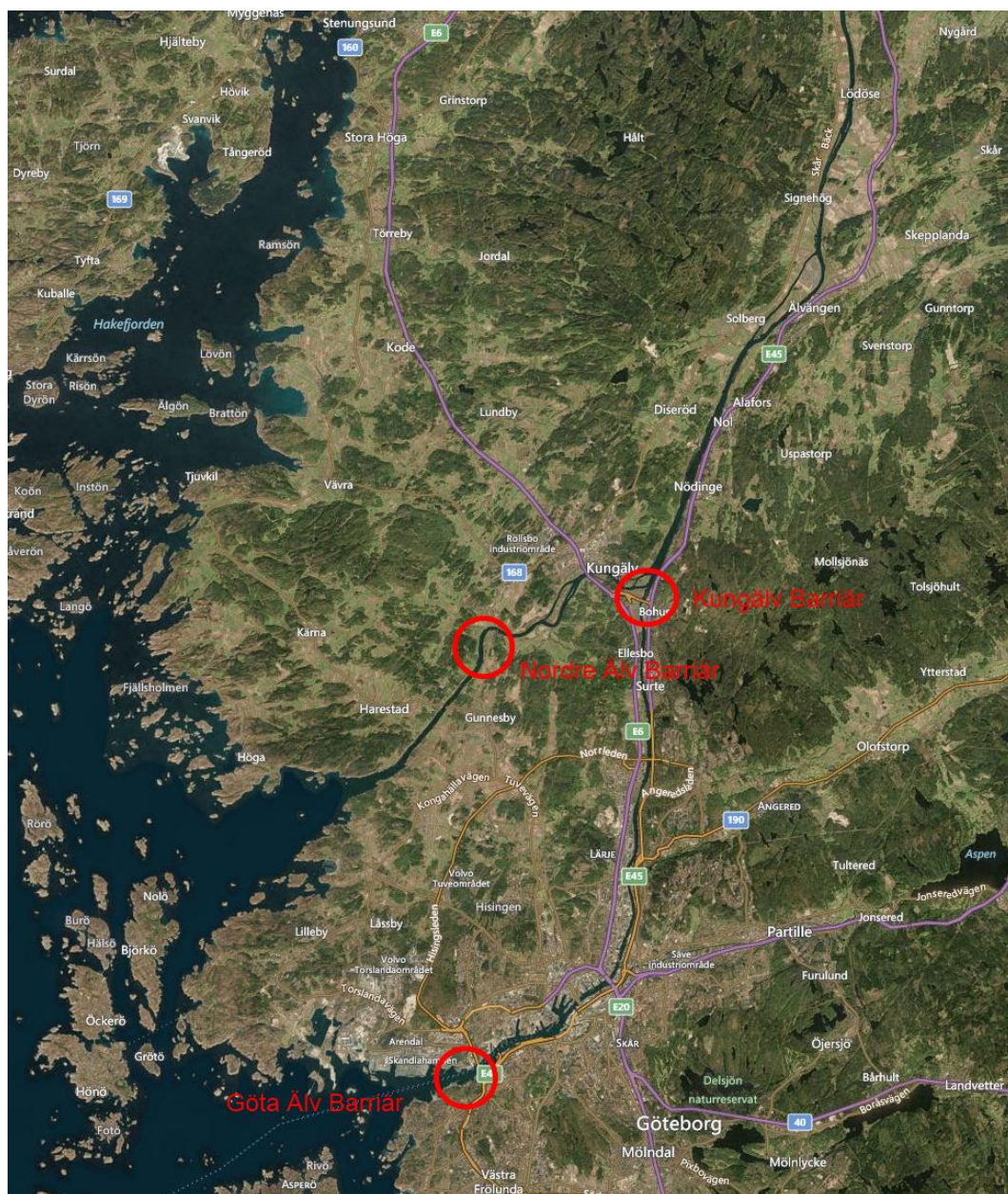
I Ormo finns idag en befintlig anläggning (en "skärm" från 1930-talet) vars syfte är att reglera Nordre älvs flöde mot Göta älv, se nedan figur. I det fall en barriär anläggs i Nordre älv, kan skärmen i Nordre älv få två funktioner, både med yt- och bottenutskov för att ha möjlighet till en bättre reglering av både flöde och nivå i framtiden. Det blir då även möjligt att förhindra bakvattenströmning från Nordre älv till Göta älv vid höga havsnivåer. Den föreslagna anläggningen bör då även förses med överpumpningsmöjlighet från uppströmssidan i Nordre älv (bakom barriären).



Figur 21. Befintlig skärmanläggning i Ormo, Kungälv kommun. Skärmen används för att i högre grad kunna reglera Nordre älvs flöde i Göta älv mot Göteborg.

I detta fall måste det då ske en kontroll och reglering av flödet uppströms vattendraget i Höljes, Vänern och Lilla Edet, där det finns stor magasineringskapacitet av vatten. Det instängda avsnittet i Göteborg, med Mölndalsån och Säveån som belastar Göta älv, bör hanteras på motsvarande sätt.

6.1 ALTERNATIVA LOKALISERINGAR AV STORSKALIGA BARRIÄRER



Figur 22. Översiktskarta av Göteborg och Göta älv, med förslag på lokaliseringar av barriärer för en storskalig lösning. Bakgrundskarta: Bing Maps.

6.2 SKYDDSBARRIÄR VID ÄLVSBORGSBRON



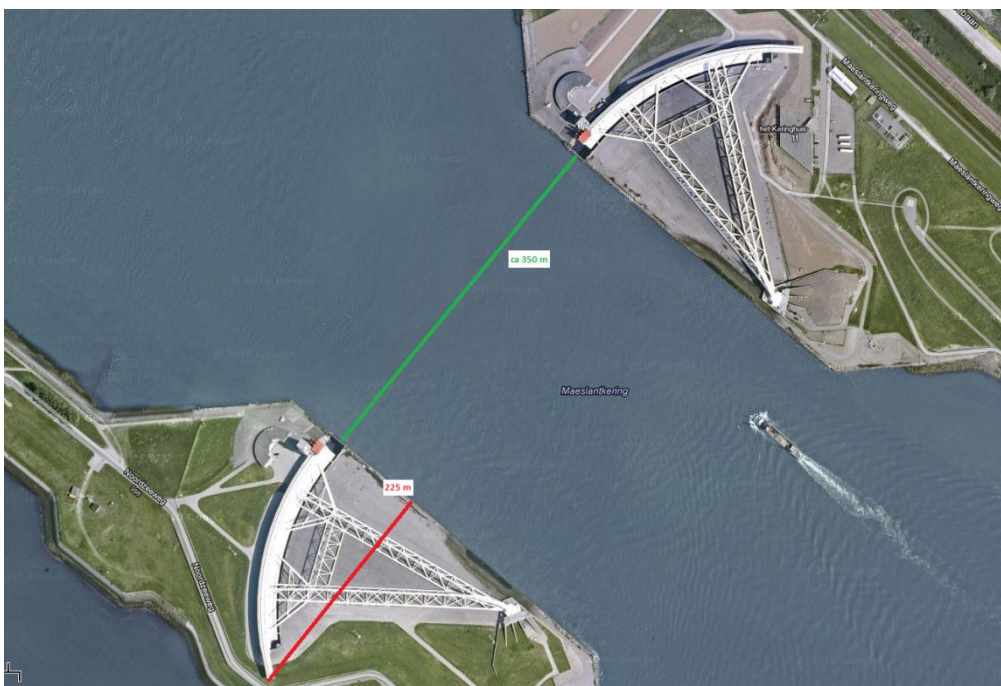
Figur 23. Flygbild över Göteborgs hamninlopp med Älvsborgsbron i förgrunden.
Foto: Mikael Svensson.



Figur 24. Göta älv och Älvsborgsbron, där en skyddsbarriär kan placeras, ca 330 m bred.
Bakgrundskarta: Bing Maps.

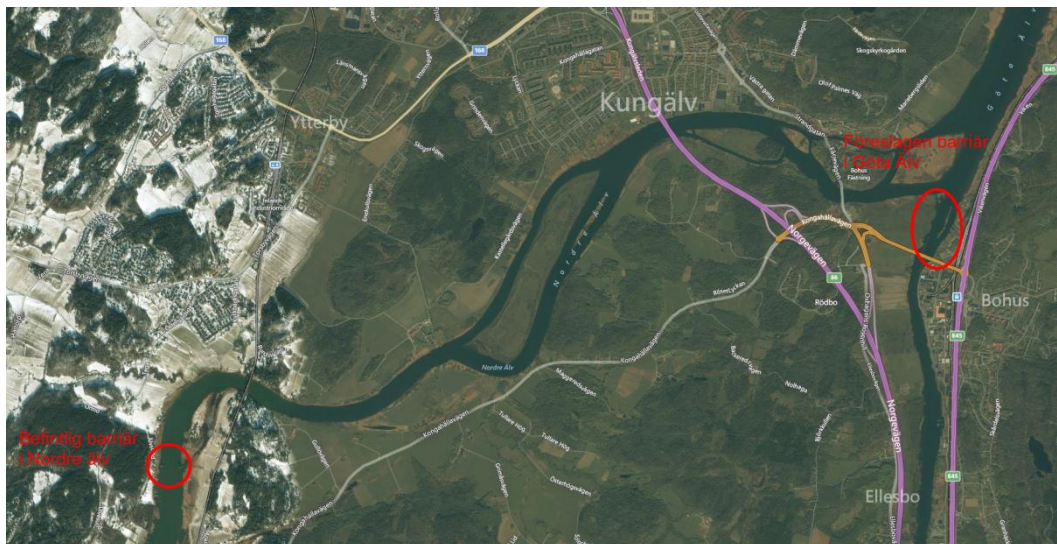


Figur 25. Två alternativa principlösningar för storskaliga barriärer vid Älvsborgsbron. Det vänstra alternativet visar förslag från Maeslant storm surge barrier (ca 190 m bred) och det högra alternativet är hämtat från Eastern Scheldt Storm surge barrier (ca 100 m bred), båda i Nederländerna. Bakgrundskarta: CityPlanner (Göteborg Stad, 2013).



Figur 26. Förslag på utformning av storskalig barriär, exempel från Maeslant storm surge barrier i Nederländerna. Bakgrundskarta: CityPlanner (Göteborg Stad, 2013).

6.3 KUNGÄLV/NORDRE ÄLV



Figur 27. Lokalisering av befintlig skärm (Ormoskärm) i Nordre älv, där en storskalig barriär kan anläggas, samt förslag på lokalisering av en barriär i Göta älv vid Kungälv. Bakgrundskarta: Bing Maps.



Figur 28. Föreslagen lokalisering av barriär norr om Jordfallsbron i Kungälv/Bohus. Bakgrundskarta: Bing Maps.

BILAGA 1. KRAVTABELL

Project: Four storm surge barriers in Göteborg

Location: S ve n

ARCADIS Project number: C02021.000307

Table of requirements, pre-feasibility level

Date: 3 December 2013

Prepared by: H.G. Voortman, ARCADIS

Checked by: H. Bodin-Sköld, Sweco environment AB

Released by: M. Andréasson, Sweco environment AB

Status: Draft

ARCADIS doc. number 77361018

Function or aspect	Req code	Description	Method of verification (pre-feasibility)	Verification result preferred option
Flood protection	F.1	The system should be able to retain water levels in G�ta �lv with a return period of <i>TBD</i> years and 100 years of sea level rise	Show applicability of design for water level of +3,5 m	Fulfilled, retaining height
Discharge	F.2	The system should be able to discharge water from S�ve�n to G�ta �lv at all times	Verify design description	See below
	F.2.1	When opened, the system should be able to discharge 165 m ³ /s into G�ta �lv	Compare areas of current cross section and design cross section	Fulfilled, area of opened structure
	F.2.2	When closed the system should be able to discharge 30 m ³ /s (alt. 1)/165 m ³ /s (alt. 2) into G�ta �lv under conditions as specified under F.1	Indicate pumping capacity and pump type	Fulfilled, pumping capacity described
Navigation	F.3	The system should allow recreational navigation under normal conditions		See below
	F.3.1	The system should allow for twolane traffic of recreational vessels under normal conditions	Verify geometry of fairway based on guidelines for navigable structures	Fulfilled, design vessel specified and fairway designed accordingly
	F.3.1.1	Sufficient sailing free height should be available for recreational vessels for normal conditions	Verify the available sailing free height of the gate	Fulfilled, lifting height of the gate is sufficient for the sailing free height
	F.3.1.2	Sufficient depth should be available for recreational navigation under normal conditions	Verify the available depth for recreational vessels	Fulfilled, sill level of barrier is designed using the design vessel specifications
	F.3.1.3	Sufficient width should be available for recreational navigation under normal conditions	Verify the available width for recreational vessels	Fulfilled, sufficient width is available
	F.3.2	Profile-averaged flow velocity should be limited to a maximum of 1.5 m/s	Verify flow velocity with a discharge of 165 m ³ /s	Fulfilled, area of opened structure
Land traffic	F.4	Existing performance of connections for land traffic should not be negatively influenced	Verify structure is sufficiently far from roads and bridges	Fulfilled, point of attention in further development
Structural safety	A.1	The structure should comply with Swedish standards for structure safety	None in pre-feasibility stage	NA
Operations	A.2	The system should be able to open or close fully in 15 minutes	Describe consequences for attenuators and other systems	Not fulfilled. Consequences for operating mechanism are severe. Recommended to reconsider requirement
Reliability of closure operations	A.3	The probability of failure of closure should be limited to 1/100 per mission	Judge feasibility of requirement	Fulfilled. 1/100 per mission is shown to be feasible in earlier built objects
Reliability of discharge function	A.4	The probability of a reduction to less than 100 % of design capacity should be limited to a maximum 1/1000 per operational period of 72 hours	Indicate consequences for design and redundancy	Partially fulfilled. Redundancy indicated in design description. Residual capacity to be considered further
Backup power	A.5	Backup power is to be provided for all functions	None in pre-feasibility stage	Not fulfilled. Energy consumption by the pumps is too large to have a realistic option for backup power
Maintenance	A.6	Maintenance and replacement strategy should be specified as part of the design	Describe where maintenance influences the design	Fulfilled for maintenance of the gates. Other parts not yet specified
Aesthetics, landscape, architecture	A.7	None	None	NA
Construction	A.8	PM	None in pre-feasibility stage	NA
Security	A.9	PM	None in pre-feasibility stage	NA
Sustainability	A.10	PM	None in pre-feasibility stage	NA

Project: Four storm surge barriers in Göteborg

Locations: Stora Hamnkanalen & Vallgraven

ARCADIS Project number: C02021.000307

Table of requirements, pre-feasibility level

Date: 3 December 2013

Prepared by: H.G. Voortman, ARCADIS

Checked by: H. Bodin-Sköld, Sweco environment AB

Released by: M. Andréasson, Sweco environment AB

Status: Draft

ARCADIS doc. number 77361018

Function or aspect	Req code	Description	Method of verification (pre-feasibility)	Verification result preferred option
Flood protection	F.1	The system should be able to retain water levels in Göta Älv with a return period of @@ years and 100 years of sea level rise	Show applicability of design for water level of +3,5 m	Fulfilled, retaining height
Discharge	F.2	The system should be able to discharge water from the city canal system to Göta Älv at all times	Verify design description	See below
	F.2.1	When opened, the system should be able to discharge 5 m ³ /s into Göta Älv	Compare areas of current cross section and design cross section	Fulfilled, area of opened structure
	F.2.2	When closed the system should be able to discharge 5 m ³ /s into Göta Älv under conditions as specified under F.1	Indicate pumping capacity and pump type	Fulfilled, pumping capacity described
Navigation	F.3	The system should allow recreational navigation under normal conditions		See below
	F.3.1	The system should allow for twolane traffic of recreational vessels under normal conditions	Verify geometry of fairway based on guidelines for navigable structures	Fulfilled, design vessel specified and fairway designed accordingly
	F.3.1.1	Sufficient sailing free height should be available for recreational vessels for normal conditions	Verify the available sailing free height of the gate	Fulfilled, unlimited sailing free height
	F.3.1.2	Sufficient depth should be available for recreational navigation under normal conditions	Verify the available depth for recreational vessels	Fulfilled, sill level of barrier is designed using the design vessel specifications
	F.3.1.3	Sufficient width should be available for recreational navigation under normal conditions	Verify the available width for recreational vessels	Fulfilled, sufficient width is available
	F.3.2	Profile-averaged flow velocity should be limited to a maximum of 1 m/s	Verify flow velocity with a discharge of 165 m ³ /s	Fulfilled, area of opened structure
Land traffic	F.4	Existing performance of connections for land traffic should not be negatively influenced	Verify structure is sufficiently far from roads and bridges	Fulfilled, point of attention in further development
Structural safety	A.1	The structure should comply with Swedish standards for structure safety	None in pre-feasibility stage	NA
Operations	A.2	The system should be able to open or close fully in 15 minutes	Describe consequences for attenuators and other systems	Can be fulfilled, considering small size of gates. To be designed in subsequent design phase
Reliability of closure operations	A.3	The probability of failure of closure should be limited to @@ per mission (based on Dutch guidelines in the order of 1/100 (easy) to 1/1000 (manageable))	Describe consequences for operating procedures and systems	Fulfilled. 1/100 per mission is shown to be feasible in earlier built objects
Reliability of discharge function	A.4	The probability of a reduction to less than 100 % of design capacity should be limited to a maximum 1/1000 per operational period of 72 hours	Indicate consequences for design and redundancy	Partially fulfilled. Redundancy indicated in design description. Residual capacity to be considered further
Backup power	A.5	Backup power is to be provided for all functions	None in pre-feasibility stage	Fulfilled. Backup power for small pumps could be supplied.
Maintenance	A.6	Maintenance and replacement strategy should be specified as part of the design	Describe where maintenance influences the design	Fulfilled for maintenance of the gates. Other parts not yet specified
Aesthetics, landscape, architecture	A.7	None	None	NA
Construction	A.8	PM	None in pre-feasibility stage	NA
Security	A.9	PM	None in pre-feasibility stage	NA
Sustainability	A.10	PM	None in pre-feasibility stage	NA

Project: Four storm surge barriers in Göteborg

Location Kvillebäcken

ARCADIS Project number: C02021.000307

Table of requirements, pre-feasibility level

Date: 3 December 2013

Prepared by: H.G. Voortman, ARCADIS

Checked by: H. Bodin-Sköld, Sweco environment AB

Released by: M. Andréasson, Sweco environment AB

Status: Draft

ARCADIS doc. number 77361018

Function or aspect	Req code	Description	Method of verification (pre-feasibility)	Verification result preferred option
Flood protection	F.1	The system should be able to retain water levels in Göta Älv with a return period of @@ years and 100 years of sea level rise	Show applicability of design for water level of +3,5 m	Fulfilled, retaining height
Discharge	F.2	The system should be able to discharge water from the city canal system to Göta Älv at all times	Verify design description	See below
	F.2.1	When opened, the system should be able to discharge 5 m ³ /s into Göta Älv	Compare areas of current cross section and design cross section	Fulfilled, area of opened structure
	F.2.2	When closed the system should be able to discharge 5 m ³ /s into Göta Älv under conditions as specified under F.1	Indicate pumping capacity and pump type	Fulfilled, pumping capacity described
Navigation	F.3	NA	NA	NA
Land traffic	F.4	Existing performance of connections for land traffic should not be negatively influenced	Verify structure is sufficiently far from roads and bridges	Fulfilled, point of attention in further development
Structural safety	A.1	The structure should comply with Swedish standards for structure safety	None in pre-feasibility stage	NA
Operations	A.2	The system should be able to open or close fully in 15 minutes	Describe consequences for attenuators and other systems	Can be fulfilled, considering small size of gates. To be designed in subsequent design phase
Reliability of closure operations	A.3	The probability of failure of closure should be limited to @@ per mission (based on Dutch guidelines in the order of 1/100 (easy) to 1/1000 (managable))	Describe consequences for operating procedures and systems	Fulfilled. 1/100 per mission is shown to be feasible in earlier built objects
Reliability of discharge function	A.4	The probability of a reduction to less than 100 % of design capacity should be limited to a maximum 1/1000 per operational period of 72 hours	Indicate consequences for design and redundancy	Partially fulfilled. Redundancy indicated in design description. Residual capacity to be considered further
Backup power	A.5	Backup power is to be provided for all functions	None in pre-feasibility stage	Fulfilled. Backup power for small pumps could be supplied.
Maintenance	A.6	Maintenance and replacement strategy should be specified as part of the design	Describe where maintenance influences the design	Fulfilled for maintenance of the gates. Other parts not yet specified
Aesthetics, landscape, architecture	A.7	None	None	NA
Construction	A.8	PM	None in pre-feasibility stage	NA
Security	A.9	PM	None in pre-feasibility stage	NA
Sustainability	A.10	PM	None in pre-feasibility stage	NA

BILAGA 2. MÅTT PÅ EFFEKTIVITET (KRITERIER)

Konceptuella lösningar som uppfyller alla krav har studerats med hjälp av multikriterieanalyser. De kriterier som tillämpats i analysen framgår nedan.

Kriterier	Beskrivning
<i>Pålitlighet som översvämningsskydd</i>	Kvalitativ bedömning av anläggningens pålitlighet som översvämningsskydd samt sårbarhet för störningar.
<i>Pålitlighet av pumpstation</i>	Kvalitativ bedömning av pålitlighet gällande pumpstationens kapacitet.
<i>Komplexitet i drift</i>	Indikation på vilka skötsel- och underhållsrutiner som erfordras samt komplexiteten i dessa rutiner.
<i>Risk under konstruktion</i>	Indikation på huruvida konceptlösningen medför konstruktionsrisker som är lägre eller högre än normalt.
<i>Miljöpåverkan</i>	Kvalitativ bedömning av miljöpåverkan. Främst avses påverkan på vattenföringen till Göta älv.
<i>Energiförbrukning</i>	Kvalitativ bedömning av energiförbrukning.
<i>Påverkan på kringliggande stadsmiljö</i>	Kvalitativ bedömning av påverkan på omgivande stadsmiljö/landskapsbild.
<i>Kostnad</i>	Rankning av konstruktionskostnaden, baserat på expertbedömningar.

Alla kriterier, bortsett från kostnadskriteriet, klassas i en skala av "-", "0" och "+" och jämförs därefter med varandra. Kostnadsaspekten är separerad från andra kriterier eftersom även en kostsam lösning kan medföra positiva aspekter i andra kriterier. Genom att separera kostnadsaspekten från övriga kriterier ges en mer transparent bedömning av alternativen.

BILAGA 3. FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR UTFORMNING AV SKYDDSPORTAR I FÖRSTUDIEN

För att kunna uppskatta erforderlig storlek och dimensioner på alternativa lösningar, har följande förutsättningar applicerats för de fyra aktuella platserna i förstudien.

Parameter	Värde	Referens
Vattennivå i Göta älv	CD +3.5 m	Specificerat av Göteborgs Stad
Vattennivå i aktuellt vattendrag	CD +0 m	Antaget värde
Signifikant våghöjd vid anläggningen	1 m	Uppskattat värde utifrån SMB-metod
Storlek på båtar och fartyg (maximal storlek på ett antal farkoster)	Djupgående: 2,5 m (fritidsbåt) Längd: 16 m (Paddan) Däcksbalk: 4 m (Paddan) Höjd: Fritidsbåt	Mailkonversation med Svante Roupé (Sweco) to Hessel Voortman, 30/10/2013, 10:30.

BILAGA 4. UPPSKATTNING AV VIND- OCH VÅGHÖJD

62 (66)

RAPPORT
2014-02-18

Project: Flood protection measures in Göteborg
Project number: C02021.000307

Subject: Estimate of wind wave height in Göta Älv

Date: 30-10-2013

Prepared by: dr. H.G. Voortman
Checked by: H. Bodin-Sköld, M.Sc.
Released by: M. Andreasson, M.Sc.

Status: Draft

Overview of requirements

Part of the verification of requirement F.1

Definitions

None

References

- 1) SMB-method for estimating wave heights (published in several resources, among others the Rock Manual, CIRIA-manual C683)
- 2) Guidelines for structures in flood defences (in Dutch)

Input

$F := 1 \cdot \text{km}$ -> fetch length. The distance of Säveån to the opposite bank of Göta Älv is appr. 600 m. For this first estimate, the fetch is rounded to 1 km

 $u := 35 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$ -> wind speed, assumed based on prior experience

 $d := 25 \cdot \text{m}$ -> depth of Göta Älv is unknown. An assumption has been made, considering that seagoing vessels enter the river

Calculation by SMB-method

$k_1 := 0.0125$ $m_1 := 0.42$ $H_{\text{inf}} := 0.283$

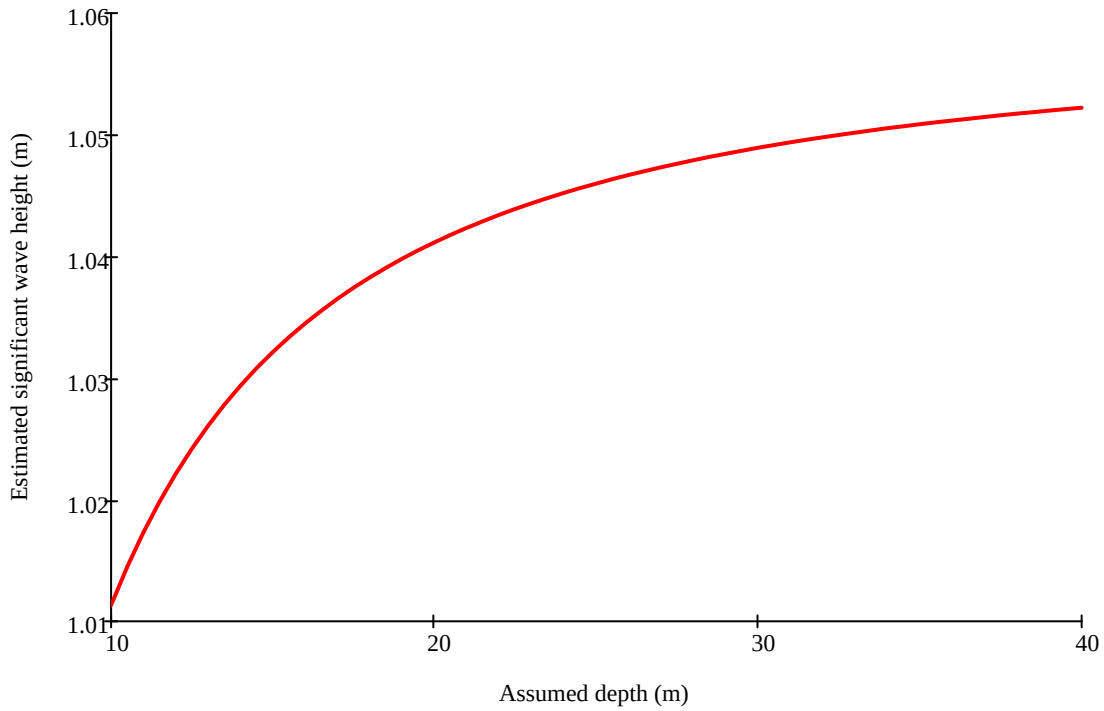
$k_3 := 0.53$ $m_3 := 0.75$

$$H_{\text{SBret}}(u, d, F) := \left(\frac{u^2}{g} \right) \cdot H_{\text{inf}} \cdot \tanh \left[k_3 \cdot \left(\frac{d \cdot g}{u^2} \right)^{m_3} \right] \cdot \tanh \left[\frac{k_1 \cdot \left(\frac{F \cdot g}{u^2} \right)^{m_1}}{\tanh \left[k_3 \cdot \left(\frac{d \cdot g}{u^2} \right)^{m_3} \right]} \right]$$

$H_{\text{SBret}}(u, d, F) = 1.05 \text{ m}$

Because the depth is based on an assumption, a sensitivity analysis is performed.

$d := 10 \cdot \text{m}, 10.5 \cdot \text{m} .. 40 \cdot \text{m}$



The sensitivity of the wave height for the depth is limited. Conservative estimates of wind speed and fetch have been applied. For pre-feasibility design a wave height of 1 m will be used.

BILAGA 5. NAVIGATIONSPROFIL

Project: Flood protection measures in Göteborg
Project number: C02021.000307

Subject: Profile of structures for navigation

Date: 30-10-2013

Prepared by: dr. H.G. Voortman
Checked by: H. Bodin-Sköld, M.Sc.
Released by: M. Andreasson, M.Sc.

Status: Draft, for review

Overview of requirements

Verification of requirement F3.1

Definitions

None

References

- 1) Dutch guideline for navigations channels (RVW 2011)
- 2) Handbook Lock Design (in Dutch)
- 3) Information on vessel dimensions, Ross Carnegie to Hessel Voortman by mail on 30 october 2013, 7:27 am

Input

Specification of design vessel:

$B_s := 4 \cdot \text{m}$ -> beam width

$L_s := 16 \cdot \text{m}$ -> length

$d_s := 2.5 \cdot \text{m}$ -> draught

Structure sized as channel for two-way traffic

The Dutch guideline for navigation channels specifies a "normal profile" and a "tight profile". The "tight profile" is acceptable if traffic intensity is low and the channel is of limited length. This is the case, so the guidelines for "tight profile" are applied.

$$B_{w_two\text{way}} := 3 \cdot B_s = 12.00 \text{ m} \quad \rightarrow \text{width at bottom level of vessel (in rectangular profile equal to the width of the structure)}$$

$$d_{w_two\text{way}} := 1.3 \cdot d_s = 3.25 \text{ m} \quad \rightarrow \text{depth with respect to lowest navigable water level}$$

Structure sized as channel for one-way traffic

The profile for one-way traffic allows one vessel to pass without the necessity to slow down.

$$B_{w_oneway} := 2 \cdot B_s = 8.00 \text{ m} \quad \rightarrow \text{width at bottom level of vessel (in rectangular profile equal to the width of the structure)}$$

$$d_{w_oneway} := 1.3 \cdot d_s = 3.25 \text{ m} \quad \rightarrow \text{depth with respect to lowest navigable water level}$$

Structure sized as a lock chamber

As a minimum, the structure can be sized as a lock chamber. It allows for one-way traffic at low speed.

$$B_{w_oneway} := 1.2 \cdot B_s = 4.80 \text{ m} \quad \rightarrow \text{width at bottom level of vessel (in rectangular profile equal to the width of the structure)}$$

$$d_{w_oneway} := 1.3 \cdot d_s = 3.25 \text{ m} \quad \rightarrow \text{depth with respect to lowest navigable water level}$$

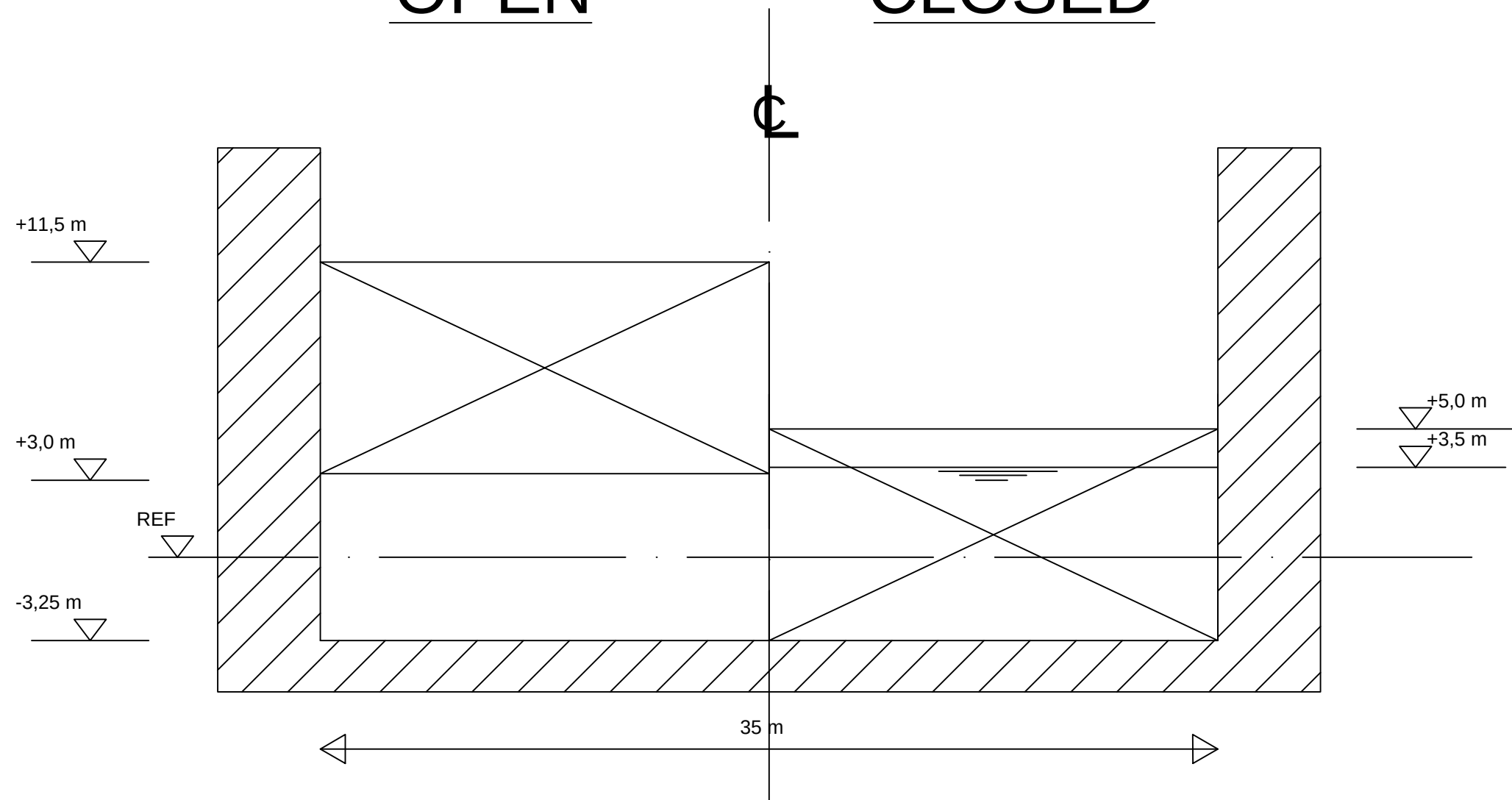
BILAGA 6. SKISSER PÅ UTFORMNING

64 (66)

RAPPORT
2014-02-18

OPEN

CLOSED



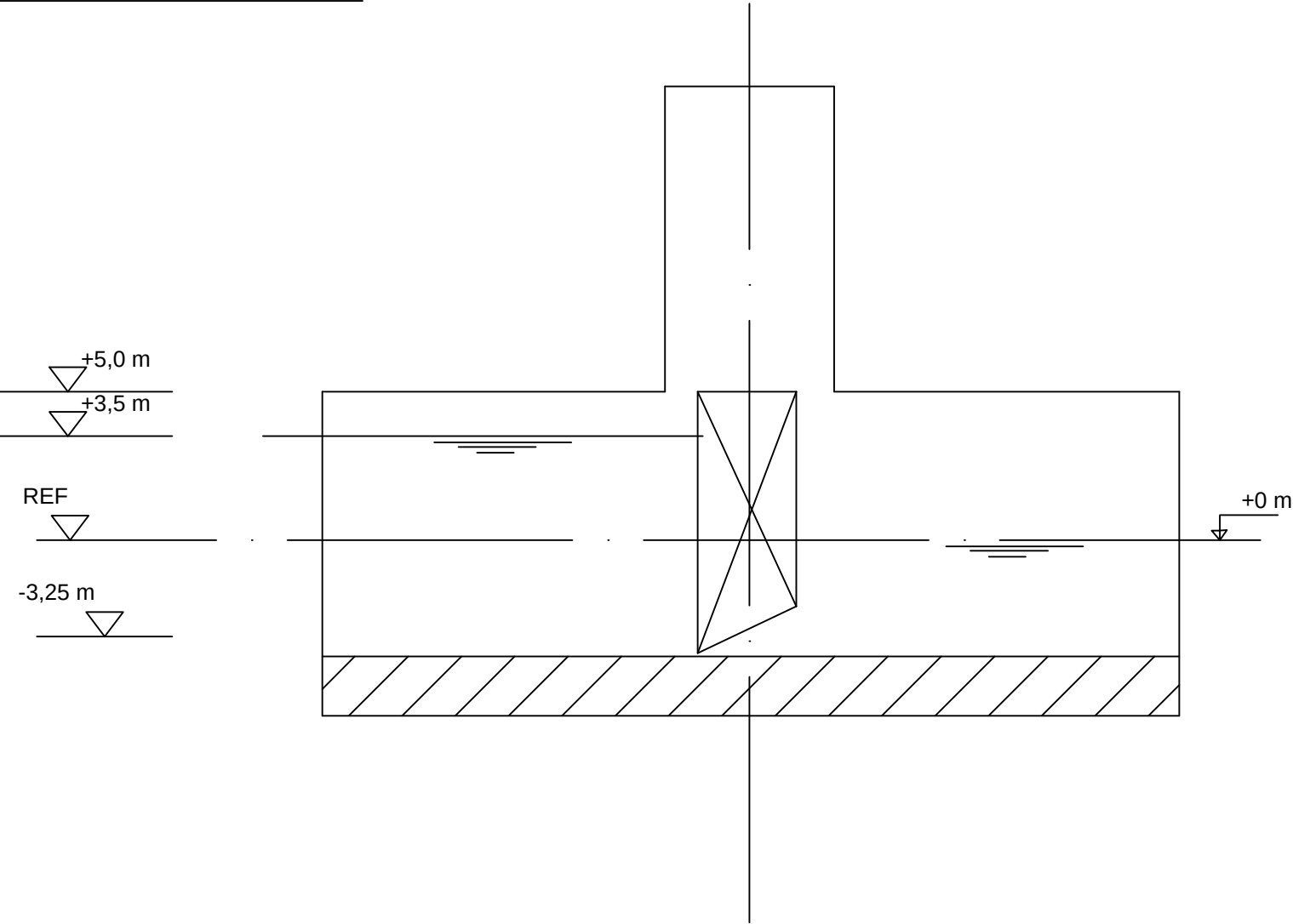
Front view

Lifting gate Säveån

Feasibility phase

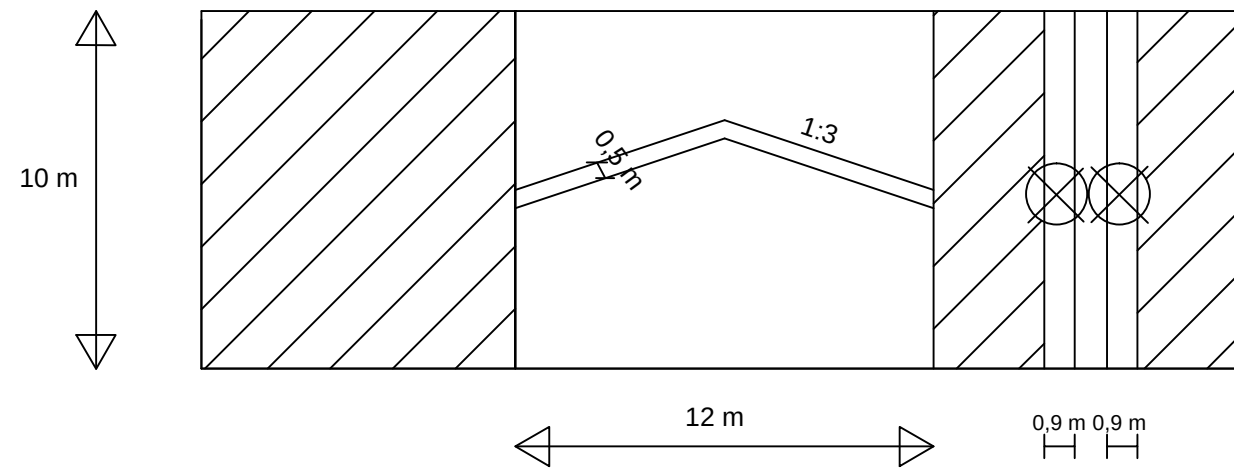
Göta älv

Säve ån

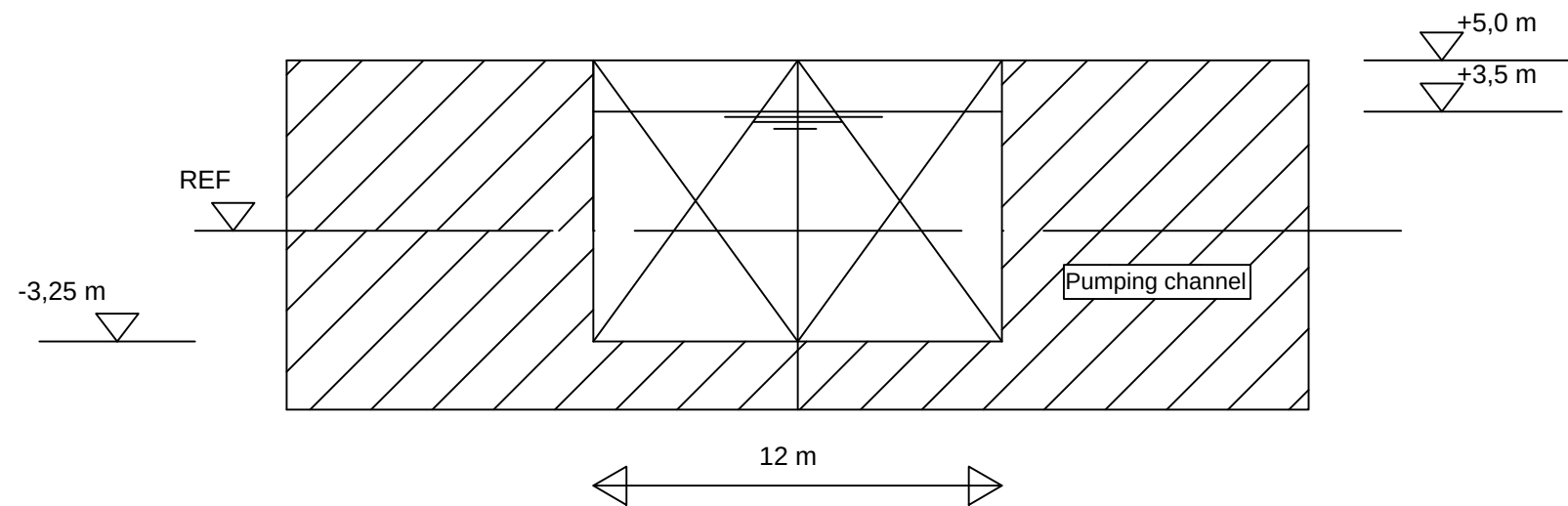


Lifting gate Säveån

Feasibility phase



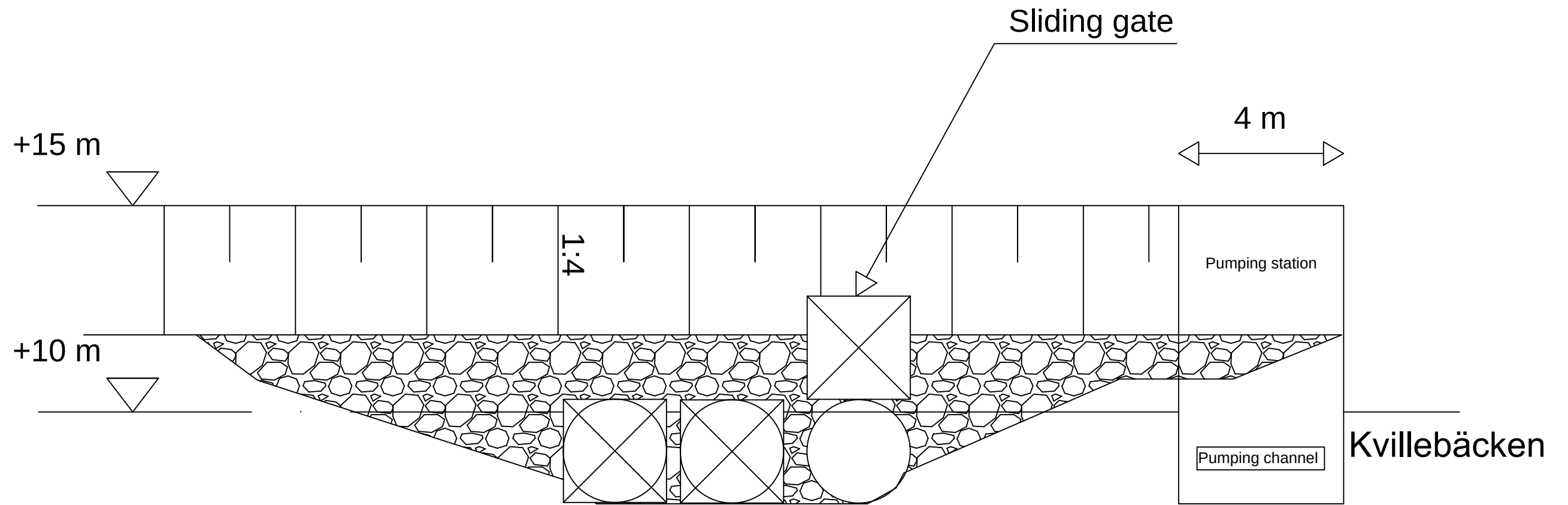
Top view



Front view

Mitre gate Vallgraven
and Hamnkanalen

Feasibility phase



Front view

BILAGA 7. KOSTNADSUPPSKATTNING

**COST ESTIMATION OF FOUR STORM SURGE
BARRIERS GÖTA ÄLV, GÖTEBORG STAD**

SWECO ENVIRONMENT AB, MR. MATS ANDRÉASSON

3 December 2013
077419484:A - Verified
C02021.000307.0100



Contents

1	Introduction	3
1.1	Context	3
1.2	Assignment.....	3
1.3	Structure of report	3
1.4	References	3
2	Cost estimation of four storm surge barriers	4
2.1	Overview of the costs per barrier	4
2.2	Points of attention.....	6
3	Cost estimation of Säveån barrier.....	8
3.1	Pre-feasibility design.....	8
3.2	Gate.....	10
3.3	Upstream bed protection	11
3.4	Downstream bed protection.....	12
3.5	Seepage cut off	13
3.6	Civil works (concrete)	14
3.7	Construction pit	15
3.8	Foundation	15
4	Cost estimation of Stora Hamnkanalen and Vallgraven barriers	17
4.1	Pre-feasibility design.....	17
4.2	Gate.....	18
4.3	Upstream bed protection	19
4.4	Downstream bed protection.....	19
4.5	Seepage cut off	20
4.6	Civil works (concrete)	21
4.7	Construction pit	21
4.8	Foundation	22
5	Cost estimation of Kvillebäcken barrier.....	23
5.1	Pre-feasibility design.....	23
5.2	Gate.....	23
5.3	Upstream bed protection	24
5.4	Downstream bed protection.....	24
5.5	Seepage cut off	24
5.6	Civil works (concrete)	24
5.7	Construction pit	25
5.8	Foundation	25
Appendix 1	Design sketches.....	27
Colophon		29

1 Introduction

1.1 CONTEXT

The city of Göteborg, Sweden, is relatively low-lying. Therefore, it is threatened by floods coming from the sea side. In and around the city, a number of small rivers and artificial canals are present. Therefore, floods can enter the city rapidly. To mediate the situation, Göteborgs Stadsbyggnadskontor (SBK) studies the construction of four movable barriers within the area of Göteborg city.

1.2 ASSIGNMENT

Göteborgs Stadsbyggnadskontor (SBK) assigned the pre-feasibility study of four barriers in the Göteborg area to Sweco environment AB. Sweco in turn assigned part of this study to ARCADIS. Previously, a pre-feasibility design of four barriers has been made by mr. H.G. Voortman (report-number: 077360770; [ref 1]) for:

- The river Säveån
- Stora Hamnkanalen and Vallgraven
- Kvillebäcken

This report contains the cost estimation of the mentioned barriers. The costs of the barriers are estimated on a pre-feasibility level. Unit prices used in this report stems from the Dutch market for the 2014 price level.

1.3 STRUCTURE OF REPORT

The report is structured as follows:

- Chapter 2 gives an overview of the estimated costs of the four barriers.
- Chapter 3 describes the cost estimation of the barrier located at location Säveån, on the south bank of Göta Älv.
- Chapter 4 describes the cost estimation of the barriers located in the Stora Hamnkanalen and Vallgraven. The barriers are very similar (both are located on the south bank of Göta Älf, in the historic city centre of Göteborg. Therefore, they are described together in chapter 3.
- The cost estimation of the barrier located at Kvillebäcken is described in chapter 5.

1.4 REFERENCES

This report is based on the following information/reports:

1. Pre-feasibility study of four storm surge barriers in Göteborg, Sweden, ARCADIS 2013
2. Design of movable weirs and storm surge barriers, PIANC General Secretariat
3. Structures in Hydraulic Engineering, TUDelft

2

Cost estimation of four storm surge barriers

2.1 OVERVIEW OF THE COSTS PER BARRIER

Table 2-1 presents the estimated costs of the barriers at Säveån, Stora Hamnkanalen, Vallgraven and Kvillebäcken. The substantiation of the costs per barrier is given in chapter 3, 4, and 5. Costs are estimated for a pre-feasibility design which is described a report written by mr. Voortman. The level of detail of the pre-feasibility design is very low; therefore assumptions for the design and cost estimation have been made. An enumeration of the assumptions is given in section 2.2.

The estimated costs are a first indication of the real realisation costs. For now, it is impossible to estimate the costs accurately, because many uncertainties are present. The exact soil conditions, loads at the gates (for example ice, the connections of the barrier to its surroundings etc. could raise the costs significantly. To increase the accuracy of the cost estimation, more information about the locations and surroundings is essential. By investigating the locations and surroundings, the estimated costs are expected to increase according to Figure 2-1.

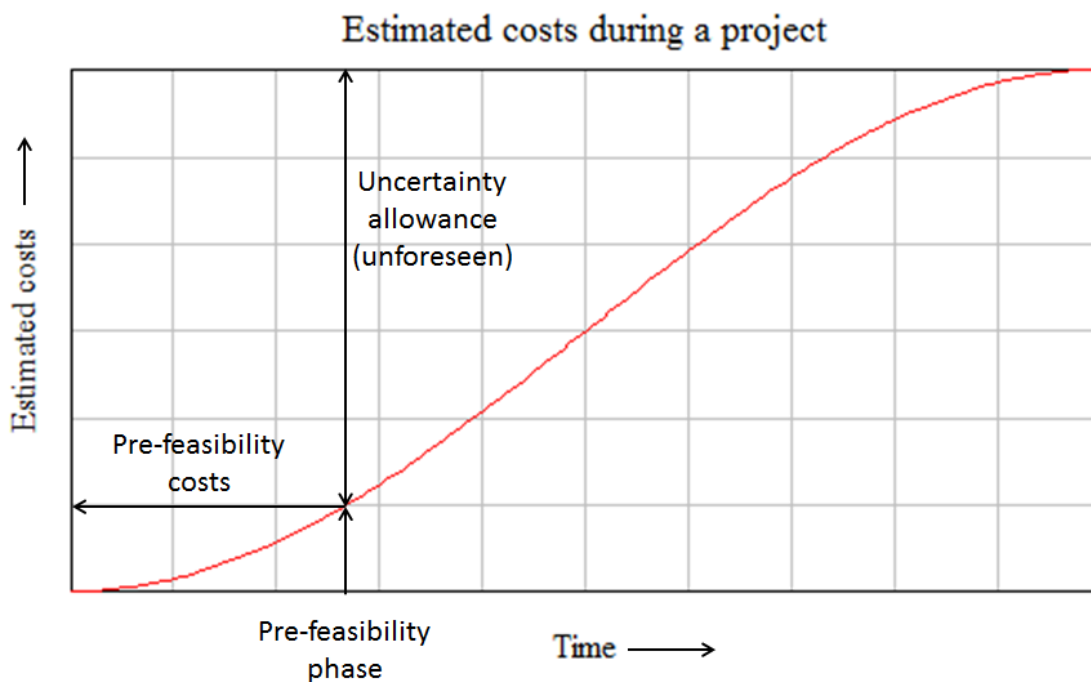


Figure 2-1 (Estimated) costs during a project (Impression, not on scale)

The presented estimated costs are indications of the realisation costs of the barriers based on prefeasibility design.

Table 2-1 Cost estimation per barrier

Object	Costs	Total costs
Barrier Säveån		€ 9.720.500
Lifting gate	€ 2.560.000	
Upstream bed protection	€ 345.000	
Downstream bed protection	€ 345.000	
Seepage cut-off	€ 1.515.500	
Sub and superstructure	€ 2.035.000	
Building pit	€ 1.050.000	
Foundation	€ 1.870.000	
Pumping station	By Sweco	
Barrier Hamnkanalen		€ 4.361.500
Gates	€ 670.000	
Upstream bed protection	€ 260.000	
Downstream bed protection	€ 260.000	
Seepage cut-off	€ 1.434.500	
Sub and superstructure	€ 1.173.000	
Building pit	€ 480.000	
Foundation	€ 84.000	
Barrier Vallgraven		€ 4.441.500
Gates	€ 670.000	
Upstream bed protection	€ 260.000	
Downstream bed protection	€ 260.000	
Seepage cut-off	€ 1.434.500	
Sub and superstructure	€ 1.173.000	
Building pit	€ 480.000	
Foundation	€ 164.000	
Barrier Kvillebäcken		€ 1.772.500
Gates	€ 0	
Upstream bed protection	€ 0	
Downstream bed protection	€ 0	
Seepage cut-off	€ 1.284.500	
Sub and superstructure	€ 368.000	
Building pit	€ 0	
Foundation	€ 120.000	
Total estimated costs of four barriers exclusive:		€ 20.296.000
Engineering costs		PM
Costs for integrating the barriers in a flood defence system for the city of Göteborg (levees, walls, etc. which connects the barriers)		PM

The effects of seasonal variety on construction works.	PM
Temporary measures (traffic management, road diversions, etc.)	PM
Realisation costs due to phasing.	PM
Real estate costs	PM
Additional costs like research costs, permits, mitigation/compensation, insurances etc.	PM
Costs for cables and pipes	PM
Costs for the surroundings and accessibility (logistics)	PM
Costs for architecture	PM
Integration of the seepage cut-off screen to the surroundings. Present buildings, roads etc. are neglected	PM
VAT	PM
Uncertainty allowance	PM

2.2 POINTS OF ATTENTION

Several points of attention are present for the cost estimation, namely:

- The movable barriers should be considered part of a strategy where the city's flood protection system is located along the banks of Göta Älv. During a site visit of mr Voortman, the banks were seen to be densely populated with several buildings close to the water line. Considering this urban character of the banks and the future plans for further developing old harbour areas and wharves, implementing this defence strategy appears to be spatially extremely complicated which is expected to result in high costs. These costs are not taken into account in this report.
- The top level of the barriers is higher than the banks and quays of the Göta Älv. In order to obtain a storm surge defence system, the banks and quays have to be raised. This results in major construction works, resulting in higher costs which are not included in this report.
- A water retaining element (levee/quays/walls) should be considered which connects the several barriers. The seepage walls of the barriers have to be integrated in the water retaining elements which results in major construction works like raising roads, constructing levees/walls etc. These costs are not taken into consideration in this report.
- Costs of the erection method highly depend on the available equipment and the seasonal variety which is not taken into account in the cost estimation.
- The costs of the abutments and sills of the barriers are based on a pre-feasibility sketch which is based on 'expert judgement'. No detailed design has been made of the abutments and sills. Therefore, the design of the abutments and sill could be reconsidered which could result in higher costs than estimated.
- An assumption has been made for the foundation design. No design checks are executed to substantiate the chosen grid, pile length and diameter. Therefore, a more detailed design has to be made which could result in higher costs.
- No detailed design of the operation and control has been made. The operation and control constitute important parts in the total costs of the barrier. A percentage of 10% of the estimated costs of hydraulic equipment is taken into consideration as a first estimate.
- Temporary measures (traffic management, road diversions, etc.) are not included in the cost estimation.
- Realisation costs due to phasing are not included in the cost estimation. Costs for realising the barrier in two phases in order to maintain an open connection between the upstream and

downstream side of the river/channel could be much higher than realising the barrier in one phase and blocking the river/channel.

- Unit prices for the Dutch market (price level 2014) are used for the cost estimation. The unit prices could differ with respect to the unit prices in Sweden.
- It is assumed that the gates will be transported to the barrier by barge and will be installed by a floating crane by Sävån and normal crane for the other barriers. Costs are estimated for this realisation method. A different installation method could raise the costs.
- It is assumed that the bed protection consists of rip-rap, stone and gravel. Costs could increase when a different materials/methods is used for the bed protection.
- No costs are taken into account for a new bed protection for the barrier at Kvillebäcken. It is assumed that the present bed protection is sufficiently strong and stable for the future situation.
- Soil conditions for the Kvillebäcken barrier are not known. In order to estimate the costs, it is assumed that the soil conditions at Kvillebäcken are equal to the soil conditions at Stora Hamnkanalen.
- Excluded from the costs estimation are:
 - real estate costs
 - engineering costs
 - additional costs like research, permits, mitigation/compensation, insurances etc.
 - costs for cables and pipes
 - costs for the surroundings, and accessibility (logistics)
 - costs for architecture.
- General assumptions made for the bed protection:
 - No excavation of subsoil
 - Use of gravel, stone and fascine mattress.
- General assumptions made for the seepage cut-off screen:
 - Installation by a floating barge
 - No complicated connections to the surroundings
 - The present buildings, roads etc. are neglected.
- General assumptions made for the sub- and superstructure:
 - Costs of finishing works, fences, sills, soil improvement are not estimated. An addition has been taken into account.
- General assumptions made for the construction pit:
 - Sheet piles will remain after finalizing the barrier.
 - Costs of finishing works, fences, sills, soil improvement are included as 20% of the estimated costs of the concrete sub and superstructure.
- General assumptions made for the foundation:
 - Tubular steel piles are used.
 - Foundation piles will be drilled into the bed rock for a couple of metres.
 - A grid of 4m x 4m is used
 - The diameter of the piles is around 1 metre and the piles will be filled with concrete and rebar.

3

Cost estimation of Sävån barrier

3.1 PRE-FEASIBILITY DESIGN

Sävån is a small river, discharging in Göta Älv approximately 2 km north-east of the city centre of Göteborg. The following map provides an overview of the location.



Figure 3-1 Barrier location at Sävån

Based on a forecast of high water levels in Göta Älv, the lifting gate of the barrier is closed. All navigation is blocked as long as the barrier is closed. A pumping station with sufficient discharge capacity ($165\text{m}^3/\text{s}$) is available next to the barrier to control the water levels in Sävån within acceptable limits. The costs of the pumping station are not estimated in the report of ARCADIS, but are estimated by Sweco.

A barrier consists of numerous objects which are needed to close off a waterway. The main objects of a barrier which are indicated in Figure 3-2 are [ref 2] [ref 3]:

- upstream bed protection
 - The upstream bed protection defends the bottom against erosion at the upstream side of the structure. A bottom protection is placed which withstand the flow and protects the river bed from erosion. The barrier could become unstable and could collapse when the scour holes become too large in the vicinity of the structure.
- Civil works

- The superstructure is composed of piers and abutments. The piers and abutments support the gates, bulkheads, gate operation machinery, etc. and transfer the loads to the foundation.
- The substructure must provide a stable support for the entire structure. The loads at the barrier are transferred via the substructure to the subsoil.
- the gate(s)
 - The gate(s) are the water retaining element of the barrier. The gate(s) withstand the storm surge. The gate(s) transfer the hydraulic forces to the superstructure.
- the downstream bed protection.
 - The downstream bed protection defends the bottom against erosion at the downstream side of the structure.
- Seepage cut-off wall / sheet piling
 - The sheet piling elongates the seepage length underneath the structure to prevent erosion.
- Foundation
 - A foundation transfers the (hydraulic) forces acting on the structure to the subsoil.

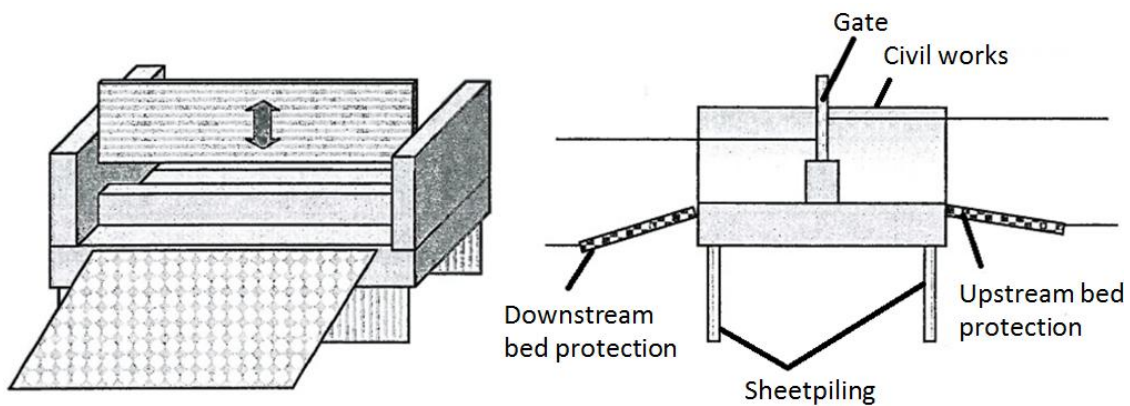


Figure 3-2 Main weir objects [ref 3]

The costs for a pre-feasibility level are based on the estimated costs of the main object presented in Figure 3-2, the foundation and the construction pit. The dimensions of the barrier located at Sävåen are presented Table 3-1 and Appendix 1. The substantiation of the costs per main object of the barrier is presented in the sequential paragraphs.

Table 3-1 Dimensions of the Barrier at Sävåen

Parameter	Value
Number of openings	1
Opening width	35 m
Sill level	3.25 m below normal water level
Top level closed gate	4.0 m to 5.5 m above normal water level
Total height of gate	8.5 m
Lower level of gate in opened position	2.5 to 3 m over normal water level
Top of gate in opened position	11.5 m over normal water level
Estimated gate weight	250 metric tons
Attenuators	To be determined
Pump capacity	30 m ³ /s to 165 m ³ /s

3.2 GATE

The costs of the gate depends on the weight of the gate, unit prices per kg, the erection method and the hydraulics which are necessary for lifting the gate. Costs of the erection method highly depend on the available equipment and the season. Costs used for the estimation are based on an installation-method using a barge on which the gate is transported to the location and a floating crane which hoists the gate into position. Table 3-2 present the break-down of the estimated costs of the gate.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Storm surge gates		1,00	Amount	€ 2.560.000,00	€ 2.560.000
Gate	250 ton	250,00	Metric ton	€ 6.000,00	€ 1.500.000
Barge		1,00	Amount	€ 100.000,00	€ 100.000
Crane		1,00	Amount	€ 250.000,00	€ 250.000
Supports and personnel		1,00	Amount	€ 50.000,00	€ 50.000
Hydraulics		1,00	Amount	€ 600.000,00	€ 600.000
Operation and control	10% of the hydraulics costs	10%		€ 600.000,00	€ 60.000
Rounding					-
Total direct costs					€ 2.560.000
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 2.560.000

Table 3-2 Cost estimation of the gate

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions
- Estimated costs are incl. conservations

3.3 UPSTREAM BED PROTECTION

The upstream bed protection defends the bottom against erosion at the upstream side of the structure. A bottom protection is placed which withstand the current and has to protect the river bed from erosion. It is assumed that the bed protection consists of armour stone, rip-rap and gravel and is purchased per metric ton. Volume of bed protection and estimated costs are determined below.

A rule of thumb, which is presented in Equation 3-1, is used to determine the length of the bed protection.

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

Equation 3-1 Length of bed protection

In which:

$$L_{bed\ protection} = \text{length of the bed protection [m]}$$

$$d = \text{water depth [m]}$$

The water level, bed level, and maximum water depth at Sävåen are presented in Table 3-3.

Aspect	Level
Sill level (assumed to be equal to the bed level)	Ref -3.25 metres
Normal water level	Reference level
Design water level	Ref + 3,5 metres
Maximum water depth	6,75 metres

Table 3-3 Water levels and bed level

A length of 70 metres is needed which results from the rule of thumb for a maximum water level of 6,75 metres.

The volume of bed protection is calculated using the length, width and thickness of the bed protection. The volume is multiplied by the volumetric density to determine the metric tons of bed protection which has to be purchased. The width of the Sävåen is about 40 metres as presented in Figure 3-3. The thickness of the bed protection is estimated to 1 metre. The resulting estimated costs of the upstream bed protection is presented in Table 3-4

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Upstream bed protection		1,00	Amount	€ 345.000,00	€ 345.000
Upstream bed protection	70x40 m ² , d=1m	2.800,00	m ³	-	-
	2.650 kg/m ³	7.500,00	metric ton	€ 46,00	€ 345.000
Rounding					
Total direct costs					€ 345.000
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 345.000

Table 3-4 Determination of the costs of the upstream bed protection

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions
- Estimated costs are excl. block mats or other bed protection measures.

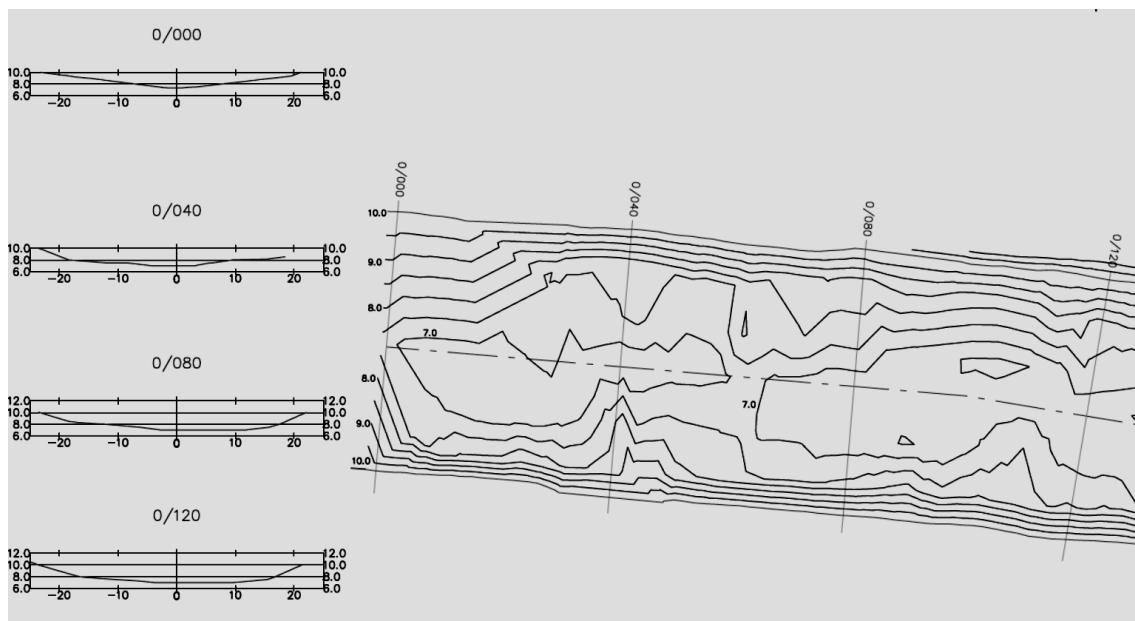


Figure 3-3 Cross sections and depth of Sävån at the proposed barrier location

3.4 DOWNSTREAM BED PROTECTION

The water depth at the bed protection, the width of the channel and the thickness of the bed protection are equal to the upstream bed protection. So, the estimated costs of the downstream bed protection are equal to the estimated costs of the upstream bed protection. The costs are presented in Table 3-5.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Downstream bed protection		1,00	Amount	€ 345.000,00	345.000
Downstream bed protection	70x40 m ² , d=1m	2.800,00	m ³	-	-
	2.650 kg/m ³	7.500,00	Metric ton	€ 46,00	€ 345.000
					-
Rounding					
Total direct costs					€ 345.000
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 345.000

Table 3-5 Determination of the costs of the downstream bed protection

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions
- Estimated costs are excl. block mats or other bed protection measures.

3.5 SEEPAGE CUT OFF

A groundwater flow under or along the structure can develop when a head over a structure is present and the seepage distance is too small. Two empirical formulas are used to calculate the minimum seepage distances which are the formulas of Bligh and Lane. The formulas of Bligh and Lane are presented in Equation 3-2 and Equation 3-3.

$$\Sigma L_H + \Sigma L_V \geq C_B \Delta H$$

Equation 3-2 Bligh piping criteria

$$\frac{1}{3} \Sigma L_H + \Sigma L_V \geq C_L \Delta H$$

Equation 3-3 Lane piping criteria

In which:

- ΣL_H = Horizontal seeping distance [m]
- ΣL_V = Vertical seeping distance [m]
- C_B = Bligh piping coefficient = 18 (Very fine sand / silt / sludge)
- C_L = Lane piping coefficient = 8,5 (Very fine sand / silt / sludge)
- ΔH = Water level difference [m]

The formulas are used to determine the length of sheet piling which is necessary to prevent erosion underneath and along the barrier.

The water level difference is determined using the design water level at downstream side of the barrier which is equal to the design water level at the Göta Älv and the normal water level at the upstream side of the barrier. The water levels and the head are presented in Table 3-6.

Aspect	Level
Design water level (downstream / Göta Älv)	Ref + 3,5m
Normal water level (upstream side of barrier)	Reference level
Head	3,5m

Table 3-6 Water levels and head for barrier Sävveån

The minimal seepage length for Bligh and Lane are presented in Table 3-7 for seepage along the barrier. A seepage screen of at least 45 metres should be applied according to the seepage formula of Lane.

Aspect	Seepage length	Seepage screen
Seepage length (Bligh)	63 metres	32 metres
Seepage length (Lane)	90 metres	45 metres

Table 3-7 Seepage lengths for piping along the barrier

The minimal seepage length for Bligh and Lane are presented in Table 3-8 for seepage under the barrier. A seepage screen of at least 32 metres should be applied according to the seepage formula of Bligh.

Aspect	Seepage length	Seepage screen
Seepage length (Bligh)	63 metres	32 metres
Seepage length (Lane)	30 metres	15 metres

Table 3-8 Seepage lengths for piping under the barrier

The area of the seepage screens is determined using the horizontal and vertical seepage lengths. The height of the seepage screen for section I and III is 10.25 metres higher than the height of the seepage screen for section II according to the technical drawings of Appendix 1. Three sections are defined for the estimation of the costs of the seepage screens as presented in Figure 3-4. The areas of sheet pile, which is used to estimate the costs of the sheet pile are presented in Table 3-9. The total estimated costs of the seepage screens are presented in Table 3-9.

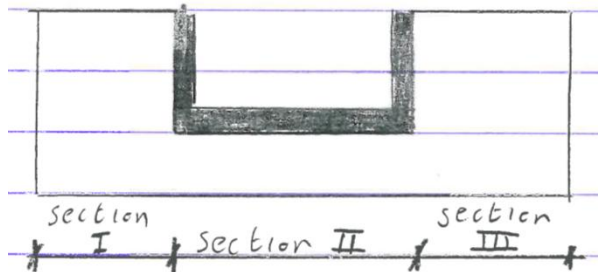


Figure 3-4 Cross section of barrier and seepage screens

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Seepage cut-off screen		1,00	Amount	€ 1.515,500	1.515.500
Section I	45 x 42.25 m ²	1.901,00	m ²		-
Section II	40 x 32 m ²	1.250,00	m ²		-
Section III	45 x 42.25 m ²	1.901,00	m ²		-
Total area of sheetpile		5.052,00	m ²	€ 300,00	€ 1.515.600
					-
Rounding					-100
Total direct costs					€ 1.515.500
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 1.515.500

Table 3-9 Estimated costs of seepage cut-off screens

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions
- Strength and stability calculations are not preformed.
- Excluding conservation

3.6 CIVIL WORKS (CONCRETE)

The estimated costs for the substructure and superstructure are related to the amount of concrete which would be used for the barrier. An estimation of the volume of concrete is made using the drawings of Appendix 1. The volume of concrete is presented in Table 3-10.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Sub- and superstructure		2.750,00	m ³	€ 740,00	€ 2.035.000

Floor slab	20 x 35x 2	1.400,00	m ³		-
Side walls 2x	20 x 8 x 3,5	1.100,00	m ³		-
Lifting gates 2x	4 x 3,5 x 9	250,00	m ³		-
Total volume of concrete		2.750,00	m ³		-
					-
Rounding					
Total direct costs					€ 2.035.000
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 2.035.000

Table 3-10 Estimated costs of civil works

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions
- Strength and stability calculations are not preformed.

3.7 CONSTRUCTION PIT

A construction pit has to be created for the realisation of the barrier. Therefore, costs are estimated on expert judgment for the realisation of the construction pit. The costs are presented in Table 3-11.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Construction pit		1,00	Amount	€ 1.050.000,00	€ 1.050.000
					-
Rounding					
Total direct costs					€ 1.050.000
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 1.050.000

Table 3-11 cost estimation of the construction pit

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions
- Strength and stability calculations are not preformed.
- Excl. conservations
- Incl. under water concrete

3.8 FOUNDATION

The barrier has to be founded in order to withstand the external forces and to limit the deformation. The barrier could be founded using the adhesive properties of the subsoil or could be founded on piles on the bedrock.

Deformations of the barrier could result into jamming of the lifting gate. Therefore, deformations have to be limited. A foundation based on the adhesive forces is more sensitive to deformations than a piled foundation. Therefore a tubular steel piled foundation is proposed placed in a 4m by 4m grid. The piles will be filled with concrete and rebar. The depth of the bedrock is approximately 70 metres which results

in 70m long piles. The area of the foundation slab is 20 metres by 35 metres. Resulting foundation costs are presented in Table 3-12.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Foundation		44,00	Amount	€ 42.500,00	€ 1.870.000
Tubular steel piles, d=950 mm	Slab 20 x 35 m ²	700,00	m ²		
Grid	4 x 4 m ²	44,00	Amount		
Length to bedrock=pile length	70 m per pile	3.080,00	m ¹		
					-
Rounding					
Total direct costs					€ 1.870.000
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 1.870.000

Table 3-12 Estimated foundation costs

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions
- Strength and stability calculations are not preformed.
- Excl. conservations
- Incl. concrete and rebar

4

Cost estimation of Stora Hamnkanalen and Vallgraven barriers

4.1 PRE-FEASIBILITY DESIGN

Stora Hamnkanalen and Vallgraven are both located in the historic city centre of Göteborg. The following map provides an overview of the location.

Based on a forecast of high water levels in Göta Älv, both barriers are closed. All navigation is blocked as long as the barriers are closed. Sufficient discharge capacity is available near the barrier location to control the water levels in the city within acceptable limits.

The barriers at Stora Hamnkanalen and Vallgraven have a comparable design and comparable surroundings. Therefore, the estimated costs of the barrier at Stora Hamnkanalen and Vallgraven are also comparable except for the foundation costs. Therefore, the same estimates are used for the estimation for the Stora Hamnkanalen and Vallgraven except for the foundation.



Figure 4-1 Barrier location at Stora Hamnkanalen and Vallgraven

The costs for a pre-feasibility level are based on the estimated costs of the main object presented in Figure 3-2. The dimensions of the barrier located at Stora Hamnkanalen and Vallgraven are presented in Appendix 1. The substantiation of the costs per main object of the barrier is presented in the sequential paragraphs.

Table 4-1 Dimensions of the Barrier at Stora Hamnkanalen and Vallgraven

Parameter	Value
Number of openings	1
Opening width	12 m
Sill level	3.25 m below normal water level
Top level closed gate	4.0 m to 5.5 m above normal water level
Total height of gate	8.5 m
Overhead clearance of opened gate	Unlimited
Gate weight	27 tons per gate (2 gates per opening)
Attenuators	To be determined
Pump capacity	5 m ³ /s

4.2 GATE

The costs of the gate depends on the weight of the gate, unit prices per kg, the erection method and the hydraulics which are necessary for lifting the gate. Costs of the erection method highly depend on the available equipment and the season. Costs used for the estimation are based on an installation-method using a barge on which the gate is transported to the location and a crane which hoists the gate into position. Table 3-2 present the break-down of the estimated costs of the gate.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Storm surge gates		1,00	Amount	€ 670.000,00	€ 670.000
Gates	54 ton	54,00	Metric ton	€ 6.000,00	€ 324.000
Barge, supports etc.		1,00	Amount	€ 50.000,00	€ 50.000
Crane		1,00	Amount	€ 50.000,00	€ 50.000
Supports en personnel		1,00	Amount	€ -	-
Hydraulics		1,00	Amount	€ 200.000,00	€ 200.000
Operation and control	10% of the hydraulics costs	10%		€ 200.000,00	€ 20.000
Rounding					€ 26.000
Total direct costs					€ 670.000
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 670.000

Table 4-2 Cost estimation of the gate of Hamnkanalen and Vallgraven

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions
- Estimated costs are incl. conservations

4.3 UPSTREAM BED PROTECTION

The length of the upstream bed protection is estimated using the rule of thumb presented in Equation 3-1. The water levels and the bed level at Stora Hamnkanalen and Vallgraven are presented in Table 4-3.

Aspect	Level
Sill level (assumed to be equal to the bed level)	Ref -3.25 metres
Normal water level	Reference level
Design water level	Ref + 3,5 metres
Maximum water depth	6,75 metres

Table 4-3 Water levels and bed level

A length of 70 metres is needed which results from the rule of thumb and the maximum water level of 6,75 metres. The width of the channels is about 30 metres. The thickness of the bed protection (including the filter layers) is estimated to 1 metre. The resulting estimated costs of the upstream bed protection are presented in Table 4-4.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Upstream bed protection		1,00	Amount	€ 260.000,00	€ 260.000
Upstream bed protection	70x30 m ² , d=1m	2.100,00	m ³	€ -	-
	2.650 kg/m ³	5.565,00	Metric ton	€ 46,72	€ 260.000
					-
Rounding					
Total direct costs					€ 260.000
Addition					1,00
Total direct costs excl. VAT					€ 260.000

Table 4-4 Determination of the estimated costs of upstream bed protection of Vallgraven and Hamnkanalen

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions
- Estimated costs are excl. block mats or other bed protection measures.

4.4 DOWNSTREAM BED PROTECTION

The water depth at the bed protection, the width of the channel and the thickness of the bed protection are equal to the upstream bed protection. So, the estimated costs of the downstream bed protection are equal to the estimated costs of the upstream bed protection.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Downstream bed protection		1,00	Amount	€ 260.000,00	€ 260.000
Bed protection	70x30 m ² , d=1m	2.100,00	m ³	€ -	-
	2.650 kg/m ³	5.565,00	Metric ton	€ 46,72	€ 260.000

					-
Rounding					
Total direct costs				€	260.000
Addition					1,00
Total direct costs excl. VAT				€	260.000

Table 4-5 Determination of the estimated costs of upstream bed protection of Vallgraven and Hamnkanalen

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions
- Estimated costs are excl. block mats or other bed protection measures.

4.5 SEEPAGE CUT OFF

The head over the barriers and the soil conditions for the barriers at Stora Hamnkanalen and Vallgraven are comparable to the head and soil conditions of the barrier at Sävåen. Therefore, the resulting seepage length determined by using Bligh and Lane for Sävåen are applied for the Stora Hamnkanalen and Vallgraven.

The area of the seepage screens is determined using the horizontal and vertical seepage lengths. Three sections are defined for the calculation of the seepage screens as presented in Figure 3-4. The height of the seepage screen for section I and III is 10.25 metres higher than the height of the seepage screen for section II according to the technical drawings of Appendix 1. The areas of sheet pile and the estimate the costs of the sheet pile are presented in Table 4-6.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Seepage cut-off screen		1,00	Amount	€ 1.434.500,00	€ 1.434.500
Section I	45 x 42,25 m ²	1.901,25	m ²		-
Section II	30 x 32 m ²	960,00	m ²		-
Section III	45 x 42,25 m ²	1.901,25	m ²		-
Total area of sheetpile		4.762,50	m ²	€ 300,00	€ 1.428.750
					-
Rounding					€ 5.750
Total direct costs					€ 1.434.500
Addition					1,00
Total direct costs excl. VAT					€ 1.434.500

Table 4-6 Estimated costs of seepage screens for the barrier at Stora Hamnkanalen and Vallgraven

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions
- Strength and stability calculations are not preformed.
- Excluding conservation

4.6 CIVIL WORKS (CONCRETE)

The estimated costs of the substructure and superstructure are related to the amount of concrete which would be used for the barrier. An estimation of the volume of concrete is made using the drawings of Appendix 1. The volume of concrete and estimated costs is presented in Table 4-7.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Sub and superstructure		1.725,00	m³	€ 680,00	€ 1.173.000
Floor slab	10 x 12 x 2	240,00	m³		-
Side walls 2x	10 x 8,25 x 9	1.485,00	m³		-
Total volume of concrete		1.725,00	m³		-
					-
Rounding					
Total direct costs					€ 1.173.000
Addition					1,00
Total direct costs excl. VAT					€ 1.173.000

Table 4-7 Estimated costs of civil works for Hamnkanalen and Vallgraven

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions
- Strength and stability calculations are not preformed.

4.7 CONSTRUCTION PIT

A construction pit has to be created for the realisation of the barrier. Therefore, costs are estimated for the realisation of the construction pit. The costs are presented in Table 4-8.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Construction pit		1,00	Amount	€ 480.000	€ 480.000
					-
Rounding					
Total direct costs					€ 480.000
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 480.000

Table 4-8 Cost estimation of the construction pit of Hamnkanalen and Vallgraven

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions
- Strength and stability calculations are not preformed.
- Excl. conservations
- Incl. under water concrete

4.8 FOUNDATION

Like the Sävåån, a tubular steel piled foundation is proposed placed in a matrix of 4m by 4m. The depth of the bedrock at Stora Hamnkanalen is approximately 15 metres which results in 15m long piles and the depth of the bedrock at Vallgraven is approximately 30 metres which result in 30 m long piles. The area of the foundation slabs is 10 metres by 12 metres. Resulting foundation costs are presented in Table 4-9 and Table 4-10.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Foundation		8,00	Amount	€ 10.500,00	€ 84.000
Tubular steel piles, d=950 mm	Slab 10 x 12 m ²	120,00	m ²		
Grid	4 x 4 m ²	8,00	Amount		
Length to bedrock = pile length	15 m per pile	120,00	m ¹		
					-
Rounding					
Total direct costs					€ 84.000
Addition					1,00
Total direct costs excl. VAT					€ 84.000

Table 4-9 Estimated foundation costs Stora Hamnkanalen

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Foundation		8,00	Amount	€ 20.500,00	€ 164.000
Tubular steel piles, d=950 mm	Slab 10 x 12 m ²	120,00	m ²		
Grid	4 x 4 m ²	8,00	Amount		
Length to bedrock = pile length	30 m per pile	240,00	m ¹		
					-
Rounding					
Total direct costs					€ 164.000
Addition					1,00
Total direct costs excl. VAT					€ 164.000

Table 4-10 Estimated foundation costs Vallgraven

5

Cost estimation of Kvillebäcken barrier

5.1 PRE-FEASIBILITY DESIGN

Kvillebäcken is a small stream located currently in an area with an industrial/harbour character. The following map provides an overview of the location.

In normal conditions, Kvillebäcken has an open connection to Göta Älv. Shipping is not possible due to the limited size of the pipes connecting Kvillebäcken and Göta Älv.

Based on a forecast of high water levels in Göta Älv, barriers close off the connection. Sufficient discharge capacity is available near the barrier location to control the water levels in Kvillebäcken within acceptable limits.



Figure 5-1 Barrier location at Kvillebäcken

The costs for a pre-feasibility level are based on the estimated costs of the main object presented in Figure 3-2. The dimensions of the barrier located at Kvillebäcken are presented in Appendix 1. The substantiation of the costs per main object of the barrier is presented in the sequential paragraphs.

5.2 GATE

A sliding gate in combination with a concrete foundation is applied per culvert. The costs of the sliding gate and foundation are included in the cost estimation of the civil works.

5.3 UPSTREAM BED PROTECTION

It is assumed that bed protection is already available for normal use. The load at the bed protection will not change because water level at both sides of the barrier are equal. Therefore, no costs are taken into account for the bed protection.

5.4 DOWNSTREAM BED PROTECTION

It is assumed that bed protection is already available for normal use. The load at the bed protection will not change because water level at both sides of the barrier are equal. Therefore, no costs are taken into account for the bed protection.

5.5 SEEPAGE CUT OFF

The head over barrier and the soil conditions for the barrier at Kvillebäcken is assumed to be equal to the head and soil conditions of the barrier at Säveån. Therefore, the resulting seepage length determined by using Bligh and Lane are applied for Kvillebäcken barrier.

The area of the seepage screens is determined using the horizontal and vertical seepage lengths. Three sections are defined for the calculation of the seepage screens as presented in Figure 3-4. The areas of sheet pile and estimated costs of the sheet pile are presented in Table 5-1.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Seepage cut-off screen		1,00	Amount	€ 1.284.500,00	€ 1.284.500
Section I	45 x 42,25 m ²	1.901,25	m ²		-
Section II	15 x 32 m ²	480,00	m ²		-
Section III	45 x 42,25 m ²	1.901,25	m ²		-
Total area of sheetpile		4.282,50	m ²	€ 300,00	€ 1.284.750
					-
Rounding					€ 250-
Total direct costs					€ 1.284.500
Addition					€ 1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 1.284.500

Table 5-1 Estimated costs of seepage screens for the barrier at Kvillebäcken

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions
- Strength and stability calculations are not preformed.
- Excluding conservation

5.6 CIVIL WORKS (CONCRETE)

The estimated costs for the substructure and superstructure are related to the amount of concrete which would be used for the inlets. An estimation of the volume of concrete is made using the drawings of Appendix 1. The volume of concrete is presented in Table 5-2.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Sub and superstructure		460,00	m³	€ 800,00	€ 368.000
Floor slab	10 x 15 x 2	300,00	m ³		-
external walls 2x	10 x 4 x 1,5	120,00	m ³		-
Internal walls 2x	10 x 4 x 0,5	40,00	m ³		-
Total volume of concrete		460,00	m ³		-
					-
Rounding					
Total direct costs					€ 368.000
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 368.000

Table 5-2 Estimated costs of civil works for Kvillebäcken

Remarks:

- Strength and stability calculations are not preformed.

5.7 CONSTRUCTION PIT

No costs are estimated for the construction pit.

5.8 FOUNDATION

A tubular steel piled foundation is proposed placed in a matrix of 4m by 4m. The depth of the bedrock at Vallgraven is assumed at 15 metres which results in 15m long piles. The area of the foundation slabs is 10 metres by 15 metres. Resulting foundation costs are presented in Table 5-3.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Foundation		10,00	Amount	€ 12.000,00	€ 120.000
Tubular steel piles, d=950 mm	Slab 10 x 15 m ²	150,00	m ²		
Grid	4 x 4 m ²	10,00	Amount		
Length to bedrock = pile length	15 m	150,00	m ¹		
					-
Rounding					
Total direct costs					€ 120.000
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 120.000

Table 5-3 Estimated foundation costs Kvillebäcken

Remarks:

- Strength and stability calculations are not preformed.
- Excl. conservations
- Incl. concrete and rebar

Appendix 1 Design sketches

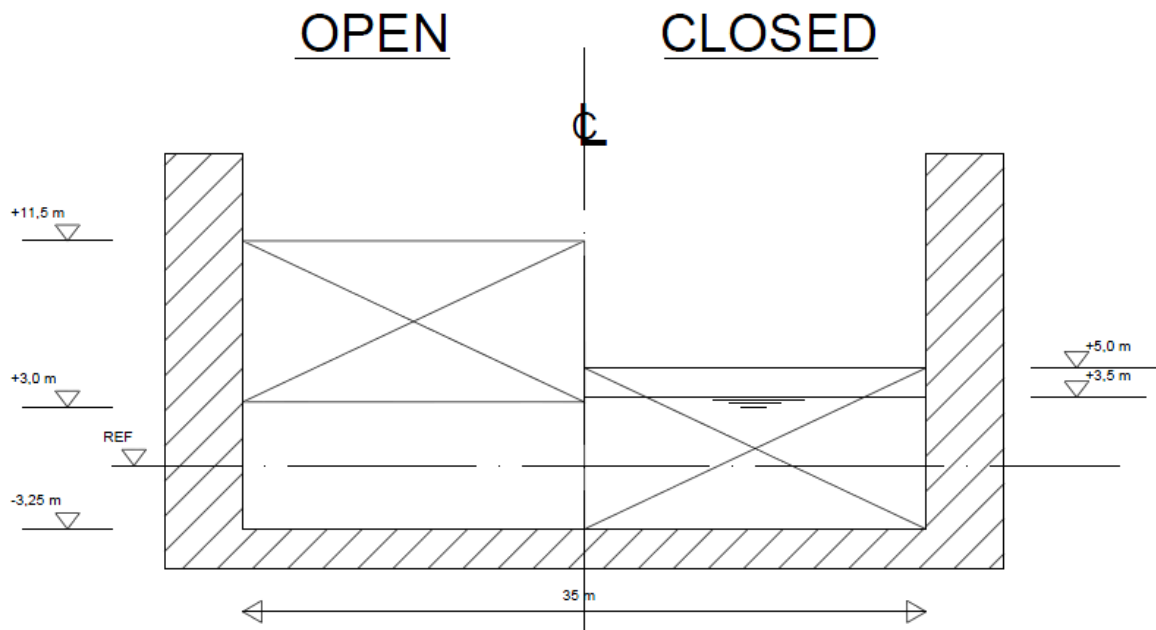


Figure 5-2 Lifting gate Sävån; Front view [ref 1]

Göta älv

Sävån

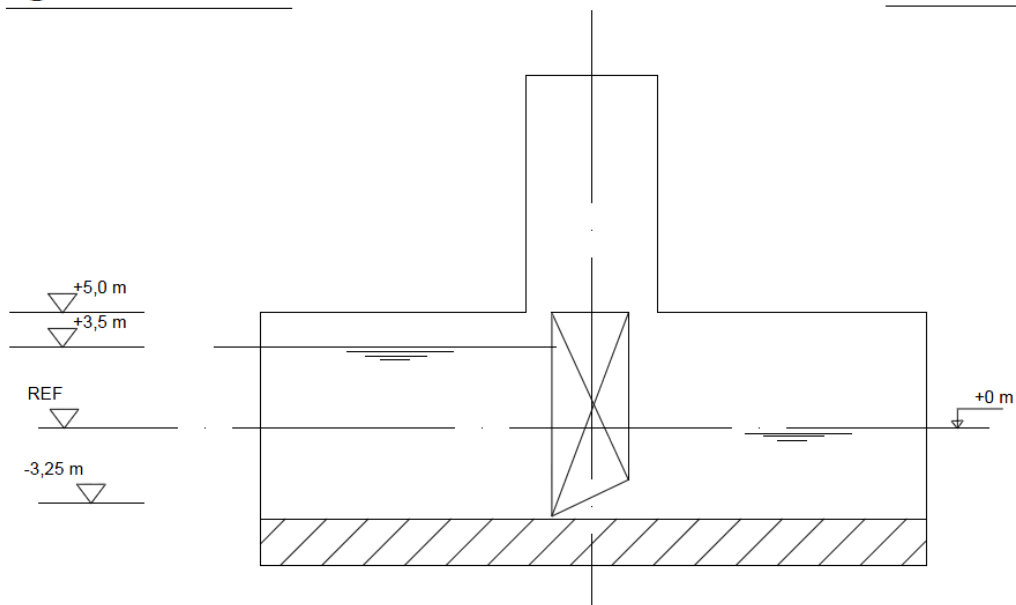


Figure 5-3 Lifting gate Sävån; side view [ref 1]

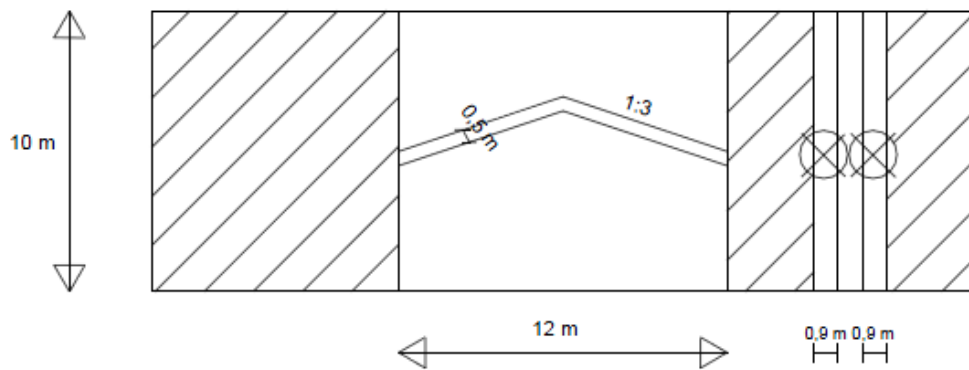


Figure 5-4 Mitre gate Vallgraven and Hamnkanalen; top view [ref 1]

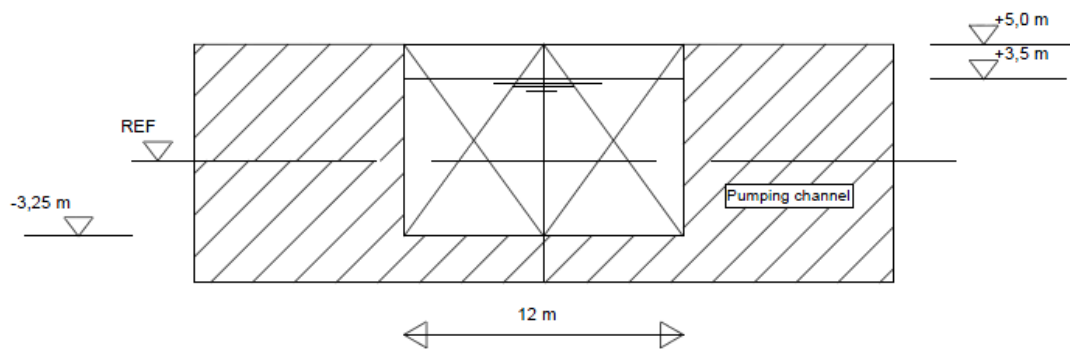


Figure 5-5 Mitre gate Vallgraven and Hamnkanalen; front view [ref 1]

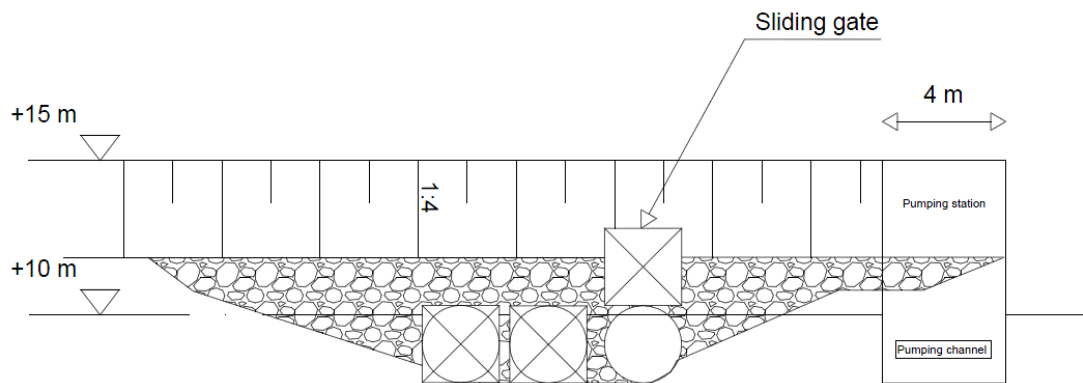


Figure 5-6 Sliding gate; Kvillebäcken; front view [ref 1]

Colophon

COST ESTIMATION OF FOUR STORM SURGE BARRIERS GÖTA ÄLV, GÖTEBORG STAD

CLIENT:

Sweco Environment ab, mr. Mats Andréasson

STATUS:

Verified

AUTHOR:

Henry Tuin

CHECKED BY:

Hessel Voortman

RELEASED BY:

Hessel Voortman

3 December 2013

077419484:A

ARCADIS NEDERLAND BV
Piet Mondriaanlaan 26
P.O. Box 220
3800 AE Amersfoort
The Netherlands
Tel +31 33 4771 000
Fax +31 33 4772 000
www.arcadis.nl
Dutch Trade Register 09036504

©ARCADIS. All rights reserved. Apart from certain exceptions allowed by the law, no part of this document may be copied and/or made public by means of printing, reprographics or digital reproduction or by any other means without the written permission of the copyright owners

BILAGA 8. KOSTNADSUPPSKATTNING FÖR PUMPSTATION I SÄVEÅN

66 (66)

RAPPORT
2014-02-18

**COST ESTIMATION OF A PUMPING STATION
LOCATED IN SÄVEÅN, GÖTEBORG STAD**

SWECO ENVIRONMENT AB, MR. MATS ANDRÉASSON

29 January 2014
077497837:A - Final
C02021.000307.0100



Contents

1	Introduction	3
1.1	Context	3
1.2	Assignment.....	3
1.3	Structure of the report	3
1.4	References	4
2	Cost estimation overview	5
2.1	Overview of costs	5
2.2	Points of attention.....	6
3	Pre-feasibility design pumping station S��ve��n	9
3.1	Pre-feasibility design of barrier S��ve��n	9
4	Cost estimation pumping station S��ve��n (165 m³/s).....	12
4.1	Upstream bed protection	12
4.2	Downstream bed protection.....	14
4.3	Excavation upstream and downstream channel.....	15
4.4	Seepage cut off and sheetpiles	17
4.5	Sheet pile embankment.....	19
4.6	Pumps, electrical components, operation and control units	21
4.7	Back-up power	21
4.8	Building pit.....	22
4.9	Foundation	23
4.10	Building of pumping station S��ve��n (concrete works).....	24
	Colophon	25

1 Introduction

1.1 CONTEXT

The city of Göteborg, Sweden, is relatively low-lying. Therefore, it is threatened by floods coming from the sea side. In and around the city, a number of small rivers and artificial canals are present. Therefore, floods can enter the city rapidly. To mediate the situation, Göteborgs Stadsbyggnadskontor (SBK) studies the construction of four movable barriers within the area of Göteborg city.

1.2 ASSIGNMENT

Göteborgs Stadsbyggnadskontor (SBK) assigned the pre-feasibility study of four barriers in the Göteborg area to Sweco environment AB. Sweco in turn assigned part of this study to ARCADIS. Previously, a pre-feasibility design of four barriers has been made by mr. H.G. Voortman (report-number: 077360770; [ref 1] and a cost estimation of four barriers has been made by mr. H.G. Tuin (report number 077419484; [ref 2] for designing and estimating the costs for:

- a barrier located in the river S  ve  n
- a barrier located in Stora Hamnkanalen and a barrier located in Vallgraven
- a barrier located in Kvillebäcken.

A barrier located in the river S  ve  n needs to be combined with a pumping station in order to limit the water levels at the upstream side of barrier S  ve  n if the barrier is closed. The estimation of costs of a pumping station located next to a barrier in the S  ve  n (from now on called: 'pumping station S  ve  n') was not part of the scope of the cost estimation of four barriers [ref 2.]. It turned out that the costs of pumping station S  ve  n would be significant, therefore Sweco assigned a study for the cost estimation of pumping station S  ve  n to ARCADIS. In this report, only the pumping station with a capacity of 165 m³/s (alternative 1 [ref 1]) is considered, the 30 m³/s pumping station (alternative 2 [ref 1]) is not part of the scope of this report.

The costs of pumping station S  ve  n are estimated on a pre-feasibility level. Unit prices used in this report stem from the Dutch market for the 2014 price level.

Prices which are derived from a reference work stem from the Dutch market for the 2012 price level. Only the costs of the building (section 4.10) and the excavation of the upstream and downstream channel (section 4.3) are based on a reference work. An addition is taken into account to convert the prices for the 2012 price level to the prices for the 2014 price level.

1.3 STRUCTURE OF THE REPORT

The report is structured as follows:

- Chapter 2 gives an overview of the estimated costs of pumping station S  ve  n.
- Chapter 3 describes the pre-feasibility design of pumping station S  ve  n.

- Chapter 4 describes the cost estimation of pumping station S  ve  n (165 m³/s).

1.4 REFERENCES

1. Pre-feasibility study of four storm surge barriers in Göteborg, Sweden, ARCADIS 2013
2. Cost estimation of four storm surge barriers G  ta   lv, Göteborg Stad, ARCADIS 2013
3. Ground level surroundings S  ve  n, e-mail from Henrik Bodin-Sköld to ARCADIS (15-1-2014), Sweco 2014.

2

Cost estimation overview

2.1 OVERVIEW OF COSTS

Table 2-1 presents the estimated costs of pumping station S ve n. The substantiation of the costs is given in chapter 4. Costs are estimated for a pre-feasibility design of the pumping station, which is described in chapter 3. The level of detail of the pre-feasibility design is very low; therefore assumptions for the design and cost estimation have been made. An enumeration of the assumptions and other remarks are given in section 0.

The estimated costs are a first indication of the real realisation costs. For now, it is impossible to estimate the costs accurately, because many uncertainties are present. The exact soil conditions and the exact connections of the pumping station to its surrounding for example could raise the costs significantly. To increase the accuracy of the cost estimation, more information about the locations and surroundings is essential. By investigating the locations and surroundings, the estimated costs are expected to increase according to Figure 2-1.

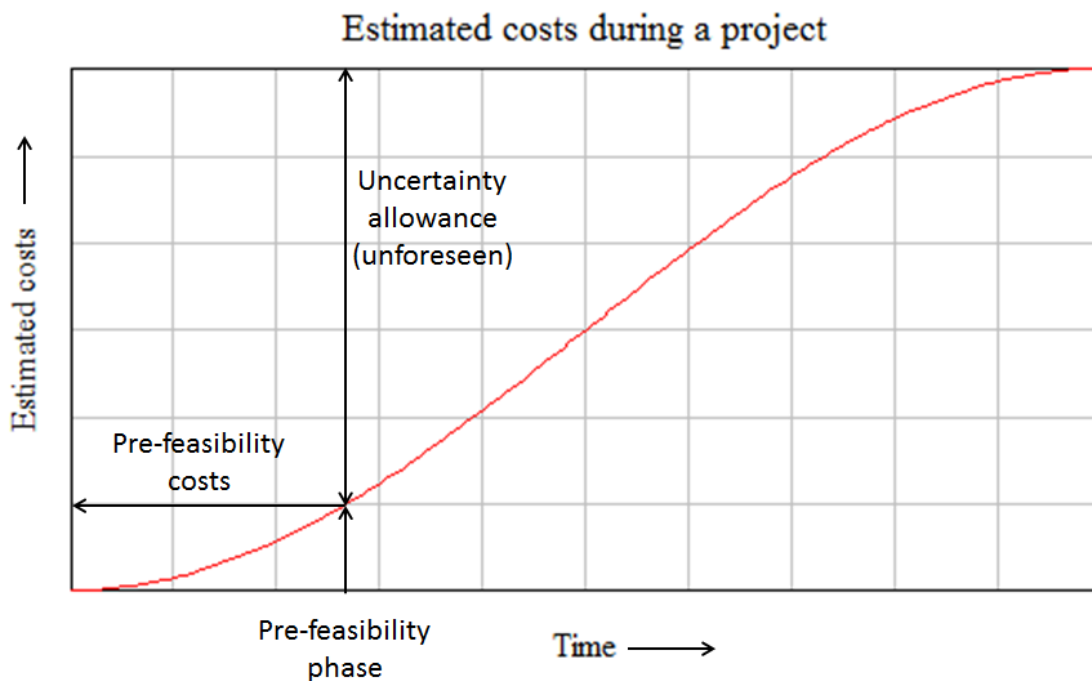


Figure 2-1 (Estimated) costs during a project (Impression, not on scale)

The presented estimated costs are indications of the realisation costs of the barriers based on a prefeasibility design.

Table 2-1 Cost estimation pumping station Sävåen

Object	Costs
Pumping station Sävåen	
Upstream bed protection	191.000
Downstream bed protection	191.000
Excavation works	211.900
Seepage screen below pumping station	816.600
Pumps	7.013.800
Back-up power	2.645.000
Building pit	3.166.000
Foundation	13.530.000
Building of pumping station	6.158.300
Total estimated costs of four barriers exclusive:	€ 33.923.600
Engineering costs	PM
Costs for integrating the barriers in a flood defence system for the city of Göteborg (levees, walls, etc. which connects the barriers)	PM
The effects of seasonal variety on construction works.	PM
Temporary measures (traffic management, road diversions, etc.)	PM
Realisation costs due to phasing.	PM
Real estate costs	PM
Additional costs like research costs, permits, mitigation/ compensation, insurances etc.	PM
Costs for cables and pipes	PM
Costs for the surroundings and accessibility (logistics)	PM
Costs for architecture	PM
Integration of the seepage cut-off screen to the surroundings. Present buildings, roads etc. are neglected	PM
Costs for the connection to the electricity system of Göteborg	PM
Additional costs for the pumps, back-up power equipment and buildings, and foundation	PM
VAT	PM
Uncertainty allowance	PM

2.2 POINTS OF ATTENTION

The points of attention for the cost estimation are:

- The pumping station should be considered part of a strategy where the city's flood protection system is located along the banks of Göta Älv. During a site visit of mr Voortman, the banks were seen to be densely populated with several buildings close to the water line. Considering this urban character of the banks and the future plans for further developing old harbour areas and wharves, implementing this defence strategy appears to be spatially extremely complicated which is expected to result in high costs. These costs are not taken into account in this report.

- A water retaining element (levee/quays/walls) should be considered which connects the barriers. The seepage walls of the barriers and pumping station Sävåen have to be integrated in the water retaining elements which results in major construction works like raising roads, constructing levees/walls etc. These costs are not taken into consideration in this report.
- Costs of the erection method highly depend on the available equipment, available space, and the seasonal variety which are not taken into account in the cost estimation.
- An assumption has been made for the foundation design. No design checks are executed to substantiate the chosen grid, pile length and diameter. Therefore, a more detailed design has to be made which could result in higher costs.
- Temporary measures (traffic management, road diversions, etc.) are not included in the cost estimation.
- Realisation costs due to phasing are not included in the cost estimation.
- Unit prices for the Dutch market (price level 2014) are used for the cost estimation. The unit prices could differ with respect to the unit prices in Sweden.
- Excluded from the costs estimation are:
 - real estate costs
 - engineering costs
 - additional costs like research, permits, mitigation/compensation, insurances etc.
 - costs for cables and pipes
 - costs for the surroundings, and accessibility (logistics)
 - costs for architecture.
- General assumptions made for the bed protection:
 - It is assumed that the bed protection consists of rip-rap, stone and gravel. Costs could increase when a different materials/methods is used for the bed protection.
 - Use of gravel, stone and fascine mattress.
- General assumptions for the excavation of the upstream and downstream channel:
 - No costs are taken into account for the transportation of soil from site.
 - It is assumed that the soil is not contaminated.
- General assumptions made for the seepage cut-off screen:
 - No complicated connections to the surroundings
 - The present buildings, roads etc. are neglected.
- General assumptions for the sheet pile embankment of the upstream and downstream channel of the pumping station:
 - A length of the sheet pile is estimated using a rule of thumb for sheet piles without anchors.
 - A sheet pile profile has been chosen by expert judgement. No calculations have been performed.
- General assumptions made for the pumps, electrical components and operation and control:
 - Costs for the pumps, electrical systems, and operation and control are based on a reference project. For more accurate cost estimation, a more detailed design has to be made.
 - The connection of the electricity system of the pumping station to the electricity system of Göteborg is not taken into account. Costs have to be estimated for realising a high voltage cable towards the pumping station.
 - Additional costs have to be estimated for:
 - Additional steelwork
 - Hoisting equipment located in the pumping station
 - Fences
 - Spare parts
 - Transport frames
 - Etc.
- General assumptions made for the back-up power are:

- The estimated costs are excluding:
 - the costs of the building where the generators are placed in
 - the costs of the foundation of the building
 - the costs of the ventilation.
- The pumps are not frequency driven.
- A no-break installation is not applied.
- The voltage of the installation is not taken into account, so general costs are estimated.
- The costs are depending on the drive of the E-motors and required power based on the type of drive (soft starter, frequency converter).
 - The presented costs are determined based on a 'soft starter' system which is the most advantageous system (required power is equal to 1,7 times the nominal power of the pump). The required power could increase significantly (required power could be 6 to 7 times the nominal power of the pump when applying a direct drive system for example)
- General assumptions made for the construction pit:
 - Sheet piles will remain after finalizing the pumping station.
- General assumptions made for the foundation:
 - Tubular steel piles are used.
 - Foundation piles will be drilled into the bed rock for a couple of metres.
 - A grid of 4m x 4m is used.
 - The diameter of the piles is around 1 metre and the piles will be filled with concrete and rebar.

3

Pre-feasibility design pumping station Sävån

3.1 PRE-FEASIBILITY DESIGN OF BARRIER SÄVEÅN

Sävån is a small river, discharging in Göta Älv approximately 2 km north east of the city centre of Göteborg. The following map provides an overview of the location. The location of the barrier is indicated by the red circle.

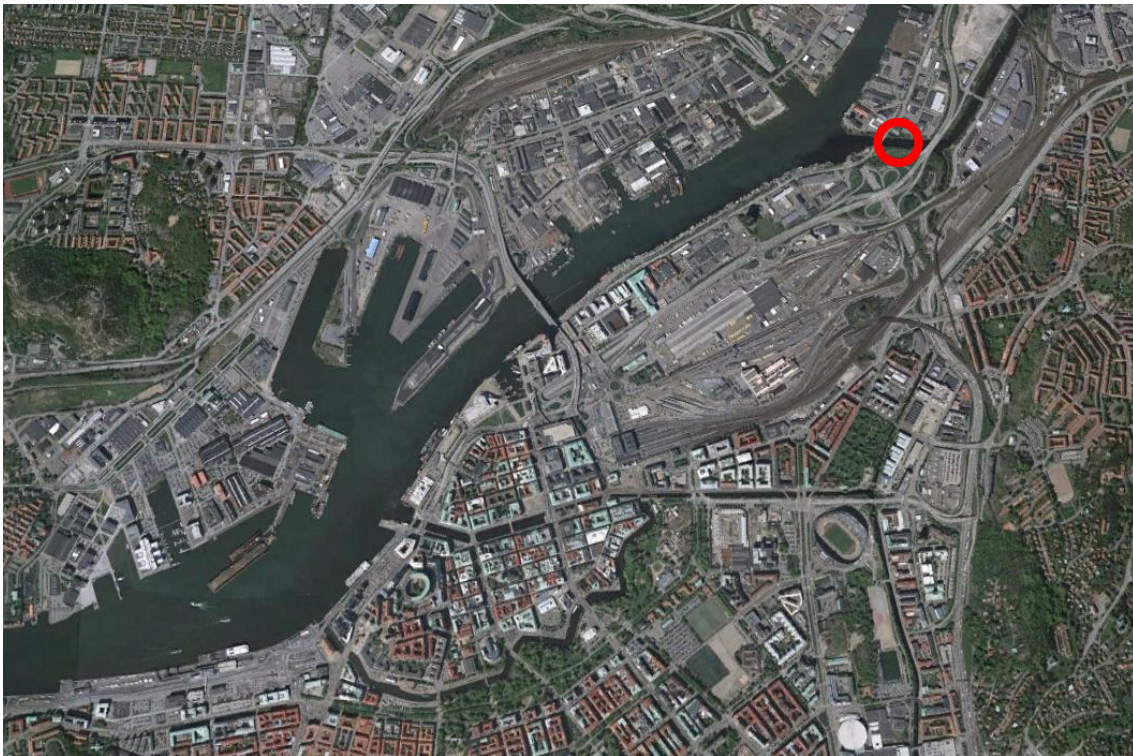


Figure 3-1 barrier located at Sävån

The discharge in Sävån is partially controlled by basins and dams upstream. Discharges in Sävån range between 30 m³/s and 165 m³/s, depending on basin operations.

Indicative soil conditions at the site are as follows (memo Magnus af Petersens, 31 October 2013):

- Soil type: clay, loose
- Depth to bedrock appr. 70 m
- Undrained shear strength of 14 kPa to a depth of 5 m. 14 kPa + 1.6*z for lower levels

A barrier located at the Sävåen closes off the Sävåen in case of high waters in the Göta Älv. During closure water will back up at the upstream side of the barrier, causing possible flooding of the hinterland. Therefore, water has to be pumped by a pumping station from the upstream side of the barrier to the downstream side of the barrier as indicated in Figure 3-2.



Figure 3-2 Barrier and pumping station Săvean (orange = barrier, bleu=pumping station)

As a first estimate of the space needed for the pumping station with a capacity of 165 m³/s, a comparison is made to the existing pumping station “Hooglandgemaal” in Stavoren, the Netherlands.



Photo 1: Hoogland pumping station (100 m³/s), Stavoren, The Netherlands

This station has a capacity of 100 m³/s, provided by 4 pumps of approximately 3.5 m diameter each. Each pump has a discharge channel of 6 m wide and division walls are 4 m wide. Therefore, the running width required for one pump unit is 10 m. In length, the building is approximately 60 m long. This dimension is determined by the pump type and not by the number of pumps. Based on this reference object, the size of the pumping station building is estimated as follows.

Parameter	Feasibility design	Design for cost estimation
Capacity	165 m ³ /s	175 m ³ /s (7 available pumps)
Capacity individual pump	Appr. 25 m ³ /s	25 m ³ /s
Number of pumps	8 (1 pump extra for redundancy in case of malfunction)	8 (1 pump extra for redundancy) back up power for 7 pumps
Estimated width of pump building	8x10 m + 5 m for end structure = 85 m	85 m
Estimated length of pump building	40 to 60 m	60 m

Table 3-1: estimated size of pumping station at Sävåån, based on the “Hooglandgemaal” in the Netherlands as reference

A top view of pumping station Sävåån (red block) and the upstream and downstream channel (blue trapezium's) of the pumping stations are presented in Figure 3-3. The costs of the pumping station are estimated in chapter 4 using this top view. The scope of this report is visualized by the red line presented in Figure 3-3. The estimated costs presented in this report are additional with respect to the estimated costs of barrier Sävåån.



Figure 3-3 Pumping station Sävåån (165 m³/s)

4

Cost estimation pumping station S  ve  n (165 m³/s)

4.1 UPSTREAM BED PROTECTION

The upstream bed protection defends the bottom of the intake channel against erosion at the upstream side (S  ve  n side) of the pumping station. A bottom protection is placed which has to withstand the current and has to protect the intake channel from erosion. It is assumed that the bed protection consists of armour stone, rip-rap and gravel and is purchased per metric ton. Volume of bed protection and estimated costs are determined below.

A rule of thumb, which is presented in Equation 4-1, is used to determine the length of the bed protection.

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

Equation 4-1 Length of bed protection

In which:

$L_{bed\ protection}$ = length of the bed protection [m]
 d = water depth [m]

The water level, bed level, and maximum water depth at S  ve  n are presented in Table 4-1.

Aspect	Level
Depth of upstream channel (assumed to be equal to the bed level of S��ve��n)	Ref -3.25 metres
Normal water level	Reference level
Design water level	Ref + 3,5 metres
Maximum water depth	6,75 metres

Table 4-1 Water levels and bed level

A length of 70 metres is needed which results from the rule of thumb for a maximum water level of 6,75 metres.

The upstream and downstream bed protection of the pumping station will be connected to the upstream and downstream bed protection of the barrier, as presented in Figure 4-1. The dimensions of the channels of the pumping station are presented in Figure 4-2.

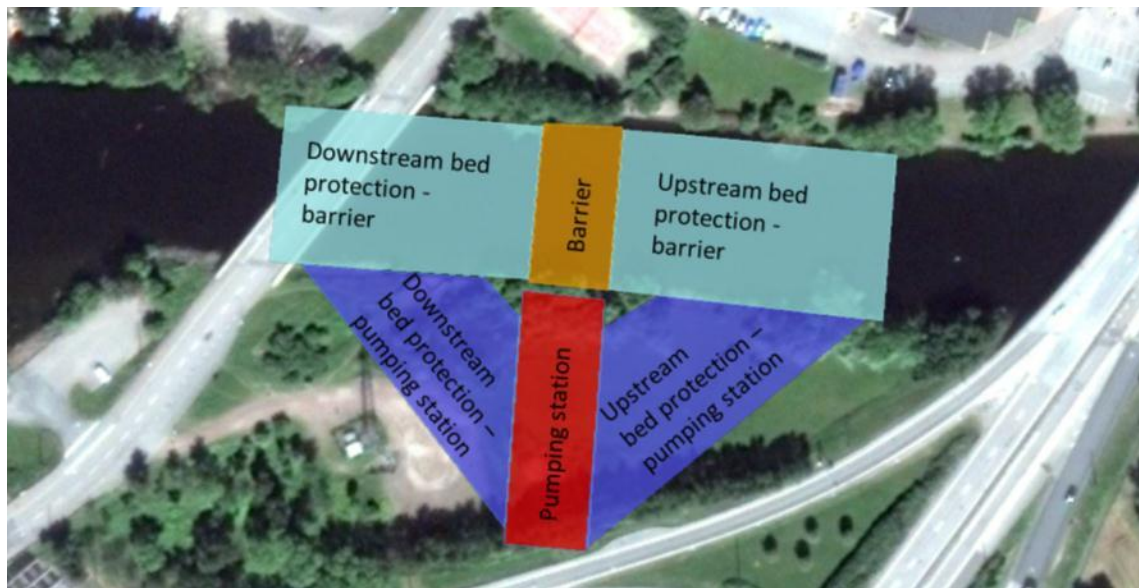


Figure 4-1 Bed protection of the pumping station Sävåån and barrier Sävåån

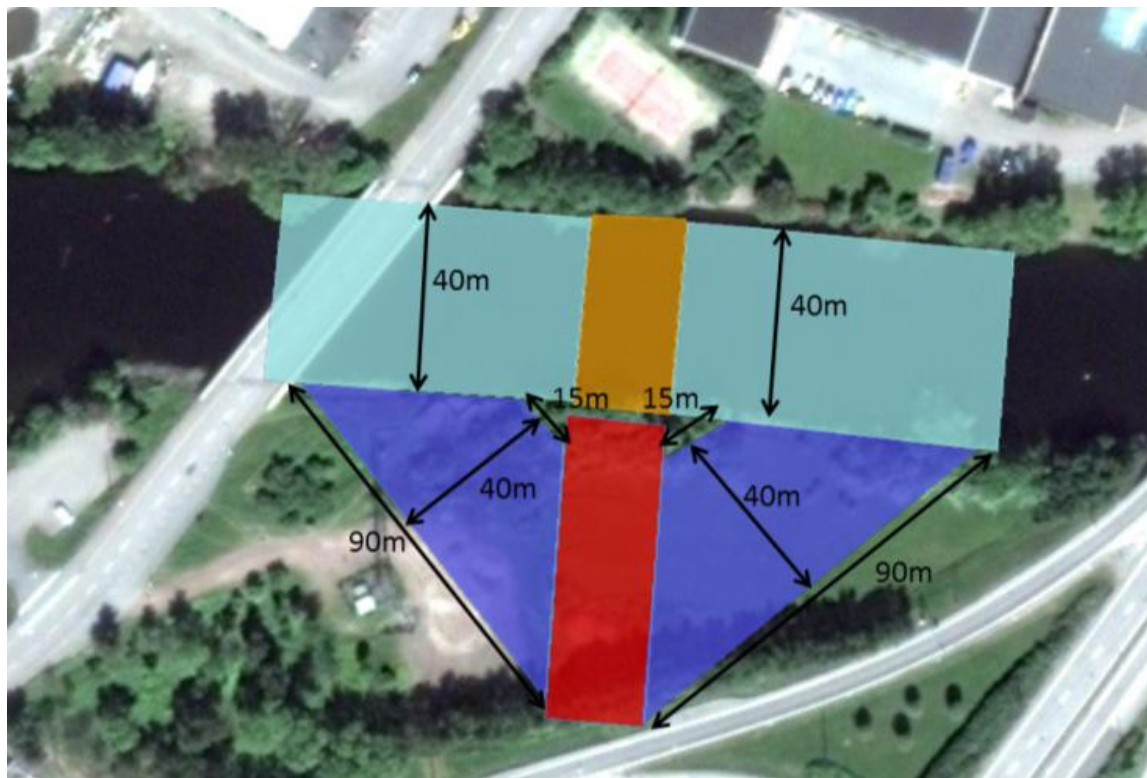


Figure 4-2 Dimensions bed protection pumping station Sävåån

The volume of bed protection is calculated using the length, width and thickness of the bed protection. The volume is multiplied by the volumetric density to determine the metric tons of bed protection. The width of the channel is about 40 metres as presented in Figure 4-2. The thickness of the bed protection is estimated to 1 metre. The resulting estimated costs of the upstream bed protection are presented in Figure 4-2.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Upstream bed protection		1,00	Amount	€ 191.000,00	€ 191.000
Upstream bed protection	0.5x40x37,5 m ² , 0.5x40x37,5 m ² 40x15 m ² d=1m ¹	2.100,00	m ³	-	-
	2.700 kg/m ³ p _{cavity} =38%	3.450,00	metric ton	€ 55,50	€ 191.000
Rounding					
Total direct costs					€ 191.000
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 191.000

Table 4-2 Determination of the costs of the upstream bed protection

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions.
- Estimated costs are excl. block mats or other bed protection measures.

4.2 DOWNSTREAM BED PROTECTION

The water depth at the bed protection, the width of the channel and the thickness of the bed protection are equal to the upstream bed protection. So, the estimated costs of the downstream bed protection are equal to the estimated costs of the upstream bed protection. The costs are presented in Table 4-3.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Downstream bed protection		1,00	Amount	€ 191.000,00	€ 191.000
Downstream bed protection	0.5x40x37,5 m ² , 0.5x40x37,5 m ² 40x15 m ² d=1m	2.100,00	m ³	-	-
	2.700 kg/m ³ , p _{cavity} =38%	3.450,00	metric ton	€ 55,50	€ 191.000
Rounding					
Total direct costs					€ 191.000
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 191.000

Table 4-3 Determination of the costs of the downstream bed protection

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions.
- Estimated costs are for loose rock / riprap

4.3 EXCAVATION UPSTREAM AND DOWNSTREAM CHANNEL

For realising the upstream and downstream channel of the pumping station, soil has to be excavated and transported from the building pit. In order to estimate the costs of the excavation works, the volume of soil has to be determined. The area which has to be excavated is determined in section 4.1 and 4.2 (the area which has to be excavated is equal to the area of the bed protection). The volume is calculated by multiplying the area by the height of the layer of soil which has to be excavated. The height of the layer of soil is determined using the present ground level (Figure 4-3) and the level of the underside of the bed protection.

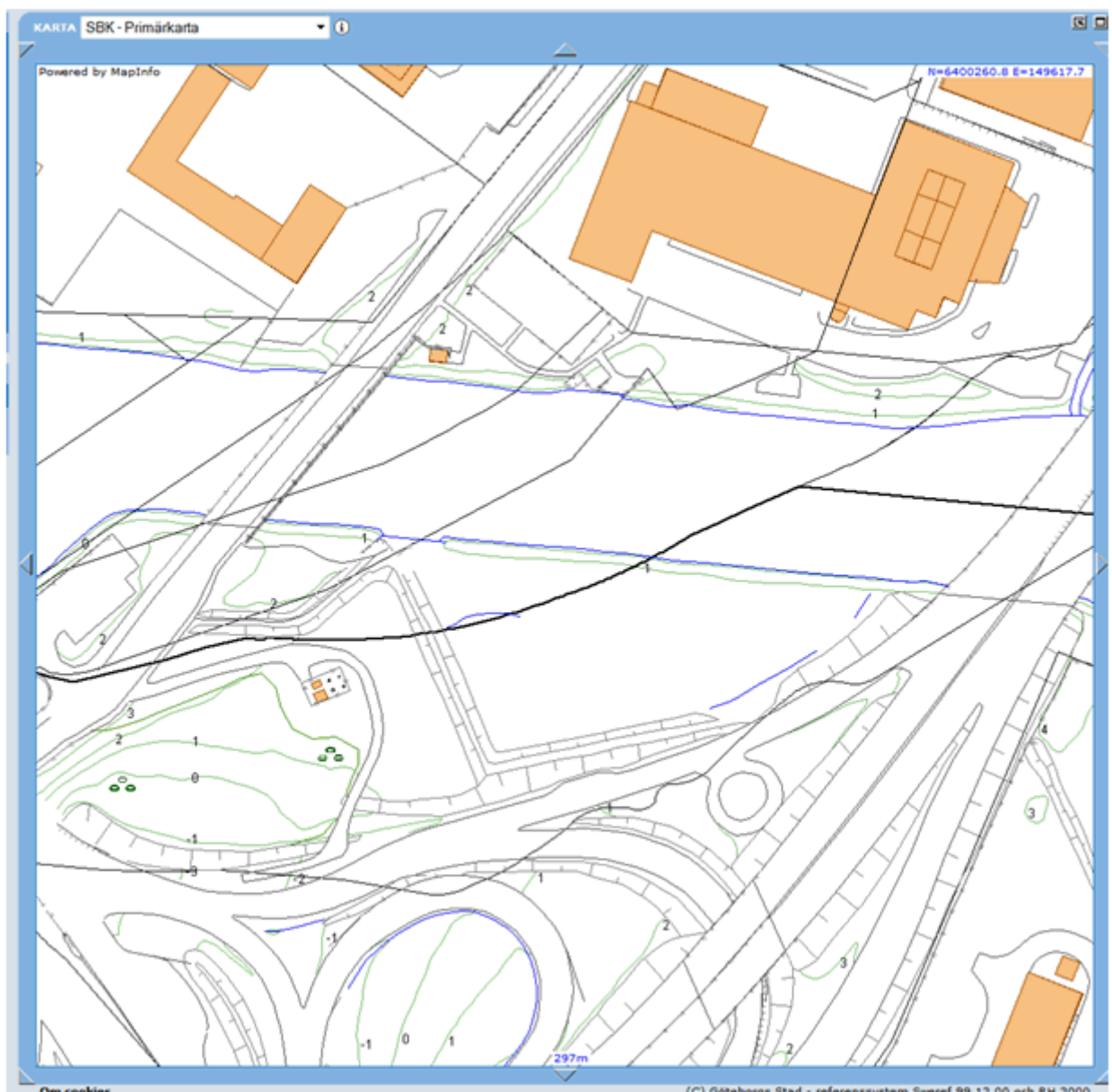


Figure 4-3 Surface levels (RH2000 elevation system) [Ref 3.]

The water level, bed level, and maximum water depth at Sävåån are presented in Table 4-4. The volumes, unit costs and total costs are presented in Table 4-5. The unit price is based on a reference work for which the costs are estimated for the 2012 price level.

In order to fully excavate the channels, the present embankment of the Sävåån must be removed.

Therefore, an addition of 20% is taken into account for the excavation works.

Aspect	Level
Depth of upstream channel (assumed to be equal to the bed level of Sävåån)	Ref -3.25 metres
Thickness of bed protection	1m
Excavation depth	Ref. -4.25metres
Present surface level (estimated)	Ref + 2,0 metres
Normal water level	Ref 0.00 metres
Excavation depth	6,25 metres

Table 4-4 Determination of excavation depth

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Upstream excavation works		1,00	Amount		€ 211.900
Upstream excavation works	0.5x40x37,5 m ² , 0.5x40x37,5 m ² 40x15 m ² d=6,25m	13125,00	m ³	€ 6,50	€ 85.300
Downstream excavation works	0.5x40x37,5 m ² , 0.5x40x37,5 m ² 40x15 m ² d=6,25m	13125,00	m ³	€ 6,50	€ 85.300
Addition for removing present embankment	20% of the excavation costs			20%	€ 34.100
Addition for the difference for the 2012 and 2014 price level	3.5% of the total costs			3.5%	€ 7.200
Rounding					
Total direct costs					€ 211.900
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 211.900

Table 4-5 Determination of the costs of the upstream excavation works

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions.

- Transportation is not included.

4.4 SEEPAGE CUT OFF AND SHEETPILES

A groundwater flow under or along the structure can develop when a head over a structure is present and the seepage distance is too small. The costs of a seepage cut-off screen for the barrier has been estimated in the report "Cost estimation of four storm surge barriers Göta Älv, Göteborg Stad" [Ref 2]. The seepage cut-off screens of the barrier is subdivided in 3 sections as presented in Figure 4-4 and Figure 4-5.

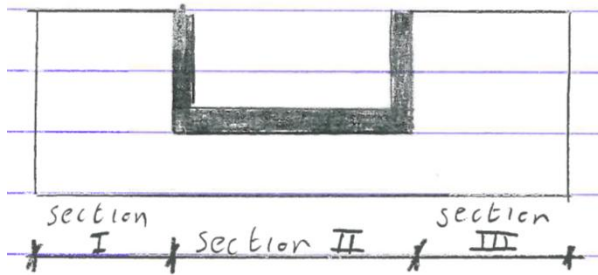


Figure 4-4 Cross section of barrier and seepage screens

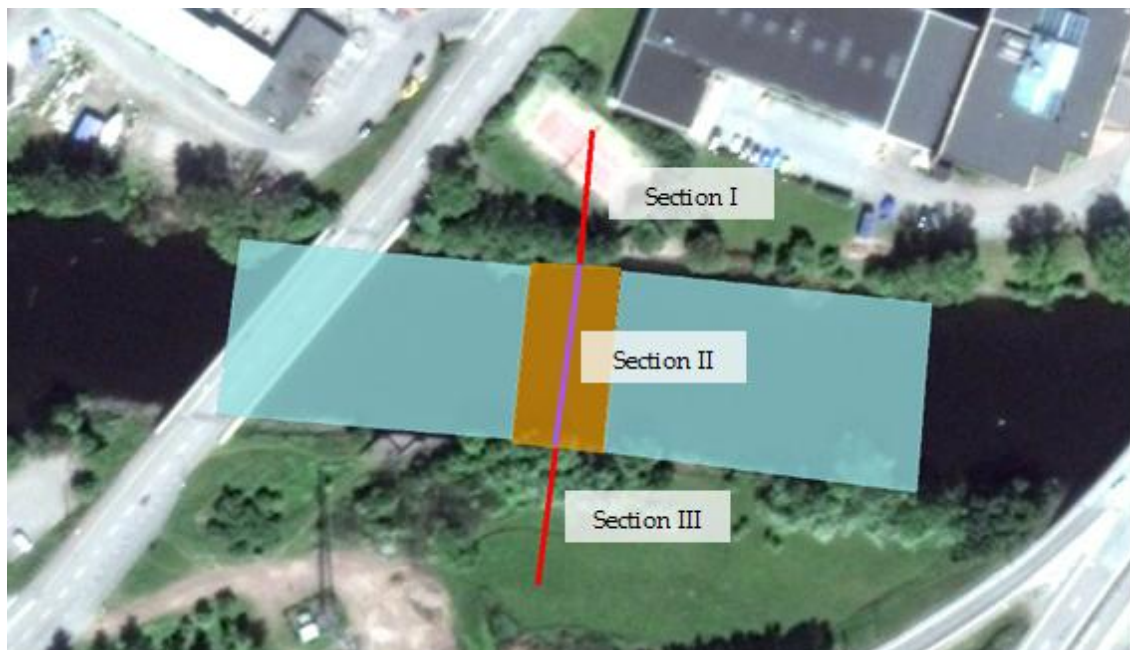


Figure 4-5 Seepage screen along the barrier (red) and underneath barrier Sävå (purple)

A seepage screen must also be present below and next to pumping station Sävå according to the principle presented in Figure 4-4. However, pumping station Sävå is located next to the barrier and the seepage cut off screen of the pumping station is integrated with the seepage cut off screen of the barrier. The seepage cut-off screen of section II is therefore elongated and also present underneath the pumping station. The elongated seepage cut off screen is presented as 'section II-b' in Figure 4-6. The seepage cut-off screen of section III is shifted towards the southern site of pumping station Sävå as presented in Figure 4-6.

The costs of the seepage cut-off screens of section I, section II and section III are estimated in the report "Cost estimation of four storm surge barriers Göta Älv, Göteborg Stad" [Ref 2]. The extra costs of the seepage cut-off screen underneath pumping station Sävå (Section II-b) are determined below.

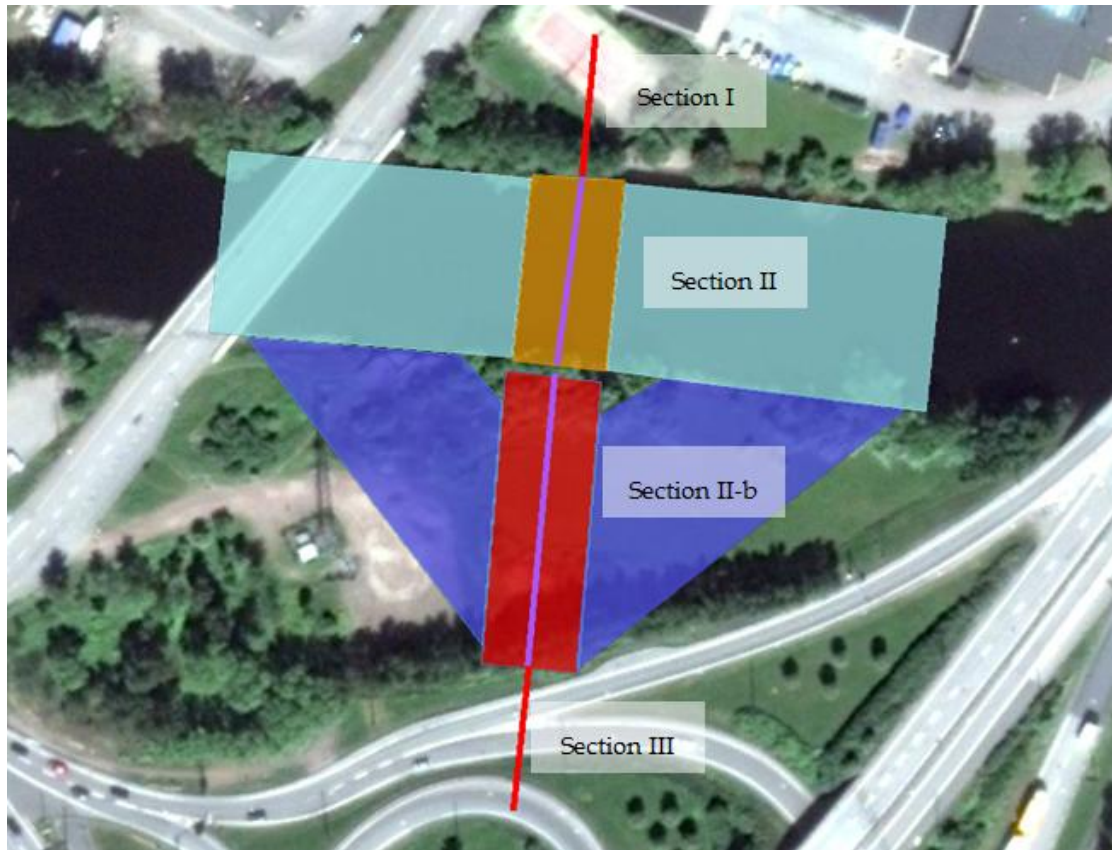


Figure 4-6 Seepage cut off screens

Two empirical formulas are used to calculate the minimum seepage distances which are the formulas of Bligh and Lane. The formulas of Bligh and Lane are presented in Equation 4-2 and Equation 4-3.

$$\Sigma L_H + \Sigma L_V \geq C_B \Delta H$$

Equation 4-2 Bligh piping criteria

$$\frac{1}{3} \Sigma L_H + \Sigma L_V \geq C_L \Delta H$$

Equation 4-3 Lane piping criteria

In which:

- ΣL_H = Horizontal seeping distance [m]
- ΣL_V = Vertical seeping distance [m]
- C_B = Bligh piping coefficient = 18 (Very fine sand / silt / sludge)
- C_L = Lane piping coefficient = 8,5 (Very fine sand / silt / sludge)
- ΔH = Water level difference [m]

The formulas are used to determine the length of sheet piling which is necessary to prevent erosion underneath and along the barrier.

The water level difference is determined using the design water level downstream from pumping station which is equal to the design water level at the Göta Älv and the normal water level at the upstream side of the barrier. The water levels and the head are presented in Table 4-6.

Aspect	Level
Design water level (downstream / Göta Älv)	Ref + 3,5m
Normal water level (upstream side of barrier)	Reference level
Head	3,5m

Table 4-6 Water levels and head for barrier Sävåen

The minimal seepage length for Bligh and Lane are presented in Table 4-7 for seepage underneath the pumping station. A seepage screen of at least 32 metres should be applied according to the seepage formula of Bligh.

Aspect	Seepage length	Seepage screen
Seepage length (Bligh)	63 metres	32 metres
Seepage length (Lane)	30 metres	15 metres

Table 4-7 Seepage lengths for piping under the barrier

The width of the pumping station is estimated to be 85 metres (Table 3-1). The costs of the seepage cut-off screen of section IV are estimated in Table 4-8

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Seepage cut-off screen		1,00	Amount	€ 816.000,00	816.000
Section IV	85 x 32 m ²	2.720,00	m ²		-
Total area of sheet pile		2.720,00	m ²	€ 300,00	€ 816.600
					-
Rounding					
Total direct costs					€ 816.600
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 816.600

Table 4-8 Estimated costs of seepage cut-off screen section IV

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions.
- Strength and stability calculations are not preformed.
- Excl. conservations.

4.5 SHEET PILE EMBANKMENT

The upstream and downstream banks of the intake and outlet channel must be protected for erosion. Two options for a bed protection are available namely:

- a sloping bank reinforced with quarry stone
- sheet piles.

Given the limited space available, a preliminary design choice is made for applying sheet piles. The length of the banks which has to be protected is given in Figure 4-2. The total height of the sheet pile is estimated using a rule of thumb which is presented in Equation 4-4.

$$h_{total} = h_{retaining\ height} + 2 * h_{retaining\ height}$$

Equation 4-4 Height of sheet pile (unanchored)

The retaining height of the upstream and downstream side of the pumping station differs. The ground level of the upstream side of the pumping station is assumed to be equal to the present situation, and the ground level of the downstream side of the pumping station is assumed to be equal to the top level of the barrier. The levels and the length of the sheet piles are presented and determined in Table 4-9.

Aspect	Level
Depth of upstream and downstream channel (assumed to be equal to the bed level of S��ve��n)	Ref -3.25 metres
Ground level, upstream from barrier [Ref 2]	Ref + 2,0 metres
Ground level, downstream from barrier [Ref 3]	Ref +5.00 metres
Upstream retaining height	5,25 metres
Downstream retaining height	8,25 metres
Length of upstream sheet pile	15,75 metres
Length of downstream sheet pile	24,75 metres

Table 4-9 Determination sheet pile length

The costs of the sheet pile are estimated using the estimated lengths of the sheet pile and the estimated lengths of the banks. The costs are presented in Table 4-10.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Sheet pile upstream and downstream channel		1,00	Amount	� 1.291.500	1.291.500
Sheet pile upstream channel	105 x 16 m ²	1.680,00	m ²		-
Sheet pile downstream channel	105 x 25 m ²	2.625,00	m ²		
Total area of sheet pile		4.305,000	m ²	� 300,00	� 1.291.500
					-
Rounding					
Total direct costs					� 1.291.500
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					� 1.291.500

Table 4-10 Estimated costs of the sheet piles for the upstream and downstream banks

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions.
- Strength and stability calculations are not preformed.
- Excl. conservations.

4.6 PUMPS, ELECTRICAL COMPONENTS, OPERATION AND CONTROL UNITS

According to Table 3-1, 8 pumps will be installed in pumping station S  ve  n. The pumps have a capacity of 25m³/s and a discharge head of 3.25 metres (difference between design water level at the G  ta   lv and normal water level at S  ve  n). Parts which have to be installed/purchased are:

- pumps
- gearboxes
- electro engines
- electrical installations
- Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)
- Appendages.

Furthermore, the pumps have to be assembled and tested. The costs of the pumps, electrical components and operation and control units are presented in Table 4-11. The costs are based on a reference work.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Pumps, electrical components and Operation and Control Units		1	Amount		� 7.013.800
Pump	25 m ³ /s, �H=3.25	8	Amount	� 555.000	� 4.440.000
Gear, engine, etc.	25 m ³ /s, �H=3.25	8	Amount	� 142.000	� 1.136.000
SCADA		1	Amount	� 800.000	� 800.000
Assembly and testing		1	Amount	� 400.000	� 400.000
Addition for the difference for the 2012 and 2014 price level	3.5% of the total costs			3.5%	� 237.200
Rounding					
Total direct costs					� 7.013.800
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					� 7.013.800

Table 4-11 Estimated costs of the pumps, electrical components, and operation and control

4.7 BACK-UP POWER

Back-up power is necessary in order to guarantee the functioning of the pumping station when the normal electricity network fails. The back-up power is generated by emergency power generators. The dimensions of the emergency power generators are comparable to the size of a cargo container. The estimated costs for the back-up power are estimated for 7 emergency power generators which provide the back-up power for 7 pumps (7 x 25 = 175 m³/s). The costs for the estimation of the back-up power are estimated for:

- Design,

- Purchase
- Assembly

The total estimated costs are presented in Table 4-12.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Back-up power		1,00	Amount	€ 2.645.000,00	€ 2.645.000
					-
Generator	20.000kVA	7	Amount	€ 350.000	€ 2.450.000
Fuel Tank	15 m ³	1	Amount	€ 30.000	€ 30.000
Control unit		1	Amount	€ 10.000	€ 10.000
Cables		1000	m ¹	€ 30	€ 30.000
Circuit breakers		7	Amount	€ 10.000	€ 70.000
Assembly		1	Amount	€ 30.000	€ 30.000
Cooling system, piping, etc.		1	Amount	€ 25.000	€ 25.000
Rounding					
Total direct costs					€ 2.645.000
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 2.645.000

Table 4-12 cost estimation of the back-up power

Remarks:

- The estimated costs are excluding:
 - building
 - foundation of the building
 - ventilation.
- The pumps are not frequency driven.
- A no-break installation is not applied.
- The voltage of the installation is not taken into account.
- The costs are depending on the drive of the E-motors and required power based on the type of drive (soft starter, frequency converter).
 - The presented costs are determined based on a 'soft starter' system which is the most advantageous system (required power is equal to 1,7 times the nominal power of the pump). The required power could increase significantly (required power could be 6 to 7 times the nominal power of the pump when applying a direct drive system for example)

4.8 BUILDING PIT

A building pit has to be created for the realisation of the barrier. Therefore, costs are estimated for the realisation of the construction pit on expert judgment. The costs are presented in Table 4-13.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Construction pit		1,00	Amount	€ 3.166.000,00	€ 3.166.000

					-
Rounding					
Total direct costs					€ 3.166.000
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 3.166.000

Table 4-13 cost estimation of the construction pit

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions
- Strength and stability calculations are not preformed.
- Excl. conservations
- Incl. under water concrete

4.9 FOUNDATION

The pumping station has to be founded in order to withstand the external forces and to limit the deformation. The pumping station could be founded using the adhesive properties of the subsoil or could be founded on piles on the bedrock.

A foundation based on the adhesive forces is more sensitive to deformations than a piled foundation.

Therefore, a tubular steel piled foundation is proposed placed in a 4m by 4m grid. The piles will be filled with concrete and rebar. The depth of the bedrock is approximately 70 metres which results in 70m long piles. The area of the foundation slab is 85 metres by 60 metres (Table 3-1). Resulting foundation costs are presented in Table 4-14.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Foundation		44,00	Amount	€ 42.422,00	€ 13.530.000
Tubular steel piles, d=950 mm	Slab 85x60 m ²	5100,00	m ²		
Grid	4 x 4 m ²	319,00	Amount		
Length to bedrock=pile length	70 m per pile	22.330,00	m ¹		
					-
Rounding					
Total direct costs					€ 13.530.000
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 13.530.000

Table 4-14 Estimated foundation costs

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions.
- Strength and stability calculations are not preformed.
- Incl. concrete and rebar.

4.10 BUILDING OF PUMPING STATION SÄVÅN (CONCRETE WORKS)

No design drawings are available for pumping station Sävåån. Therefore the costs for a pumping station are calculated using unit costs per m¹ based on a reference work. The costs of the building are estimated in Table 4-15. The costs of the building are composed of the following elements:

- floor slabs
- walls/pylons
- roof
- intake structure
- outflow structure.

Object	Specification	Unit	Dimension	Unit costs	Total costs
Pumping station-building			Amount	€ 70.000,00	€ 6.158.300
Width of pumping station	85x60 m ²	85	m ¹	€ 70.000	
Addition for the difference for the 2012 and 2014 price level	3.5% of the total costs			3.5%	€ 208.300
					-
Rounding					
Total direct costs					€ 6.158.300
Addition					1,00
Total realisation costs excl. VAT					€ 6.158.300

Table 4-15 Estimated costs for the building (concrete works)

Remarks:

- Estimated costs are incl. additions.
- Strength and stability calculations are not preformed.
- Excl. conservations.
- Incl. concrete and rebar.
- An addition for architecture has to be added.

Colophon

COST ESTIMATION OF A PUMPING STATION LOCATED IN S  VE  N, GÖTEBORG STAD

CLIENT:

Sweco environment ab, mr. Mats Andréasson

STATUS:

Final

AUTHOR:

Henry Tuin

CHECKED BY:

Hessel Voortman

RELEASED BY:

Hessel Voortman

29 January 2014

077497837:A

ARCADIS NEDERLAND BV
Piet Mondriaanlaan 26
P.O. Box 220
3800 AE Amersfoort
The Netherlands
Tel +31 33 4771 000
Fax +31 33 4772 000
www.arcadis.nl
Dutch Trade Register 09036504

  ARCADIS. All rights reserved. Apart from certain exceptions allowed by the law, no part of this document may be copied and/or made public by means of printing, reprographics or digital reproduction or by any other means without the written permission of the copyright owners