

Avsedd för
Stadsbyggnadskontoret i Göteborg

Dokumenttyp
Rapport

Datum
2014-11-28

Revision
1

HYDROMODELL FÖR GÖTEBORG

**STORBARRIÄR SOM ÖVERSVÄMNINGSSKYDD VID EXTREMT
HÖGVATTEN I HAVET ÅR 2100**

SIMULERINGSUPPDAG 4A



HYDROMODELL FÖR GÖTEBORG

SIMULERINGSUPPDAG 4A

Revidering	1
Datum	2014-11-28
Utfört av	Henrik Thorén
Kontrollerad av	Bo Granlund
Godkänd av	Tora Lindberg
Beskrivning	Storbarriär som översvämningsskydd vid extremt högvatten i havet år 2100

Ref. 1320001782-005

Document ID

Version

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	Bakgrund	1
2.	Beräkningar	2
3.	Storbarriär	6
3.1	Storbarriär	6
3.2	Drift av Storbarriären	7
4.	Modelluppbyggnad	9
4.1	Generellt	9
4.2	Simuleringsuppdraget	9
4.3	Vattendragsmodellen	11
4.4	Översvämningsmodellen	12
4.5	Sammansatt modell	14
4.6	Excel modell	16
5.	Resultat	17
5.1	Generellt	17
5.2	Kritiska objekt	21
5.3	Pumpning i excelmodellen	21
5.4	Stängningsnivå	23
5.5	Stängningsnivåns inverkan på skadekostnaden	24
5.6	Stängningsnivåns inverkan på nödvändig pumpkapacitet	26
5.7	Magasineringsbehov	26
6.	Diskussion och Slutsatser	28
7.	Rekommendationer	30

BILAGOR

Bilaga 1

Redovisning av kritiska objekt

1. BAKGRUND

Syftet med simuleringsuppdrag 4a är att kartlägga om etablering av en Storbarriär kan minska Göteborgsområdets sårbarhet för översvämning utefter Säveån, Mölndalsån, Kvillebäcken samt Göta Älv mellan Jordfallsbron och Älvsborgsbron. Området är i projektet definierat som Område A. Kartläggningen genomförs med förutsättningen att havsvattennivån når en framtida extrem nivå (år 2100), samtidigt som det är normalflöde respektive högflöde i tillrinnande åar.

För att skydda Göteborgsområdet mot översvämningar etableras en barriär vid Jordfallsbron för att delvis eller helt kunna avleda vatten från Göta Älv via Nordre Älv och en andra barriär vid Älvsborgsbron för att förhindra vattnet från havet att dämna Göta Älv. Istället för att avleda mer vatten via Nordre älv kan vattnet istället pumpas över barriären vid Älvsborgsbron. I simuleringarna har av modelltekniska skäl ansatts att vattnet avleds via Nordre älv men om detta inte är möjligt ger simuleringarna samma resultat om motsvarande flöde pumpas över barriären vid Älvsborgsbron. Ökad avledning via Nordre Älv ska ses som ett alternativ till att pumpa vattnet över barriären vid Älvsborgsbron.

Till skillnad från Simuleringsuppdrag 3a och 3b genomförs simuleringarna med en sammansatt modell för hela Område A.

Simuleringsuppdrag 4a är delvis vidareutvecklat i förhållande till den ursprungliga beskrivningen. Förutsättningarna har ändrats något, t.ex. har några simuleringar utförts utan regn. I Simuleringsuppdrag 4a utförs 6 simuleringar och de resterande simuleringarna genomförs istället i Simuleringsuppdrag 5, med syftet att användas som underlag för Kostnad-Nyttoanalysen.

2. BERÄKNINGAR

I simuleringsuppdrag 4a har 6 simuleringar genomförts, se tabell 1. Samtliga simuleringar motsvarar tänkbara väderscenarier hösten år 2100, då havet antas stiga till en extrem nivå på +2,55 m RH2000 och sedan sjunka undan igen med peak på 26 timmar. Simuleringarna genomförs både för medel- och högflöde i tillrinnande åar. Barriären vid Jordfallsbron kan ha två funktioner. Antingen avleds ytterligare 50 % eller 100 % av flödet i Göta Älv som annars skulle rinna förbi Göteborg, ut till havet via Nordre Älv. Det har inte tagits hänsyn till om det är fysisk möjligt att genomföra denna avledning och inte heller vilka konsekvenser det skulle ha för översvämningens risken längs Nordre Älv. Avledningen kan även lösas genom att vattnet rinner i Göta Älv och att det pumpas över barriären vid Älvsborgsbron.

Kart bilaga	Scenario	Modell	Flöde	Avledning		Regn
				*	Peak	**
56	A_MQ2100_50%_26t_S	A_211	Medel	50 %	26 t	Nej
57	A_HQ2100_50%_26t_S_R	A_212	Hög	50 %	26 t	Ja
58	A_HQ2100_50%_26t_S	A_213	Hög	50 %	26 t	Nej
59	A_MQ2100_100%_26t_S	A_221	Medel	100 %	26 t	Nej
60	A_HQ2100_100%_26t_S_R	A_222	Hög	100 %	26 t	Ja
61	A_HQ2100_100%_26t_S	A_223	Hög	100 %	26 t	Nej

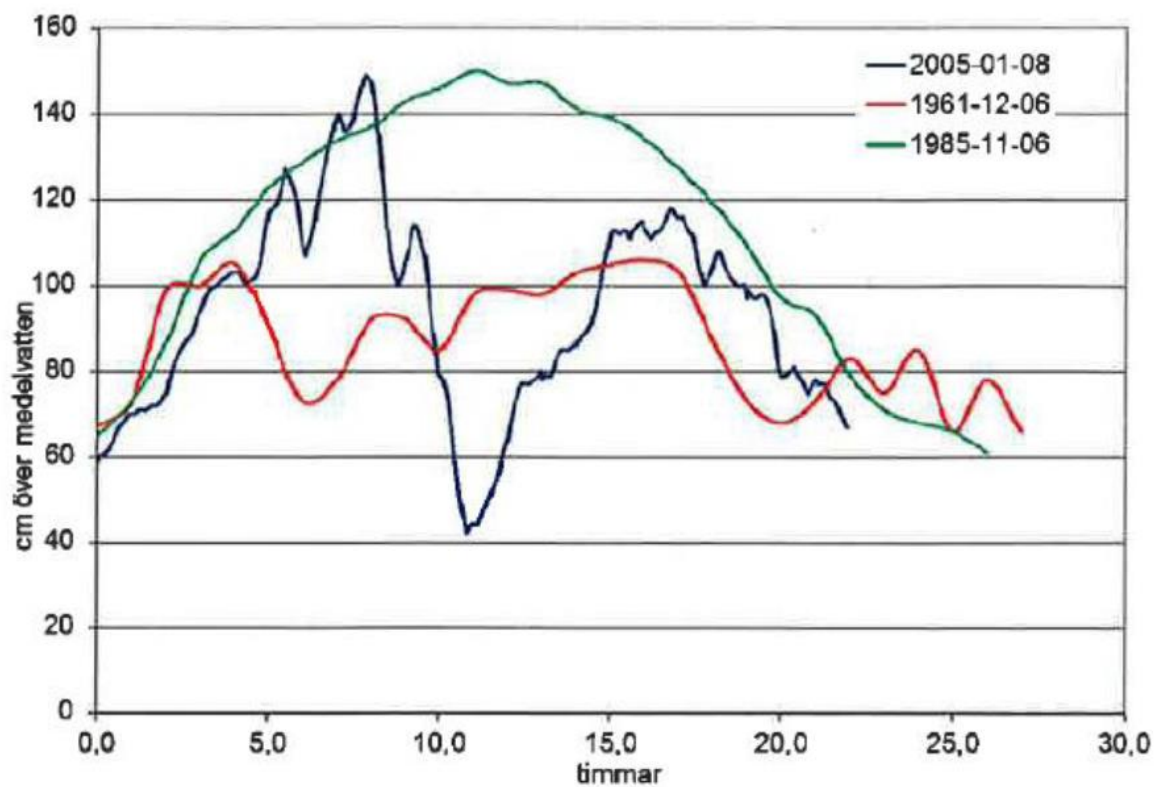
Tabell 1 Översikt av simuleringar som är genomförda för år 2100.

* Procentuell avledning av vatten till havet via Nordre Älv vid Jordfallsbron.

** Tillförsel av regnbelastning på 16 m³/s till Göta Älv i höjd med Sävveåns utlopp. S = Stängd barriär. R = Regn

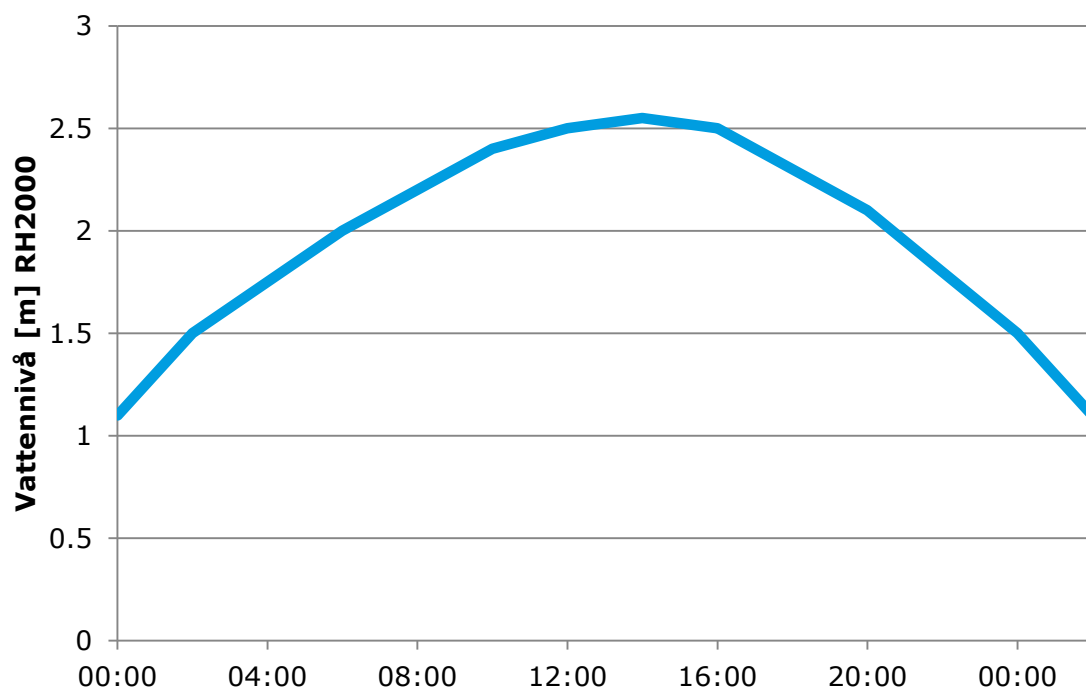
Vattennivån i havet varierar under simuleringen och den hänvisas hädanefter som "havsnivåpeak". Den simulerade havsnivåpeaken representerar en högvattensituation i form av en 200 års nivå år 2100 utifrån förväntad klimatutveckling. Förloppet baseras på en verklig högvattensituation som inträffade den 6:e november 1985 vid Torshamnen, se figur 1. Förloppet från 1985 startar 65 cm över medelvattenståndet och når den maximala nivån ca 150 cm över medelvattenståndet efter ca 12 timmar. Den havsnivåpeak som används vid simulering startar på +1,50 m, vilket motsvarar den verkliga peakens startvärde på 65 cm plus den framtida havsnivåhöjningen till år 2100 på 70 cm plus kompensation för att normalvattenståndet vid Rosenlund/Eriksberg ligger ca +0,15 m över nivån vid Torshamnen. För att Storbarriären ska kunna stänga vid +1,30 m var det dock nödvändigt att förlänga peaken något och därför startar och slutar den istället på +1,10 m, se figur 2. Den maximala nivån i den modifierade peaken baseras på SMHI:s uppskattningar för vattenståndets 200 års värde år 2100, vilket motsvarar +2,55 m och har beteckningen "HHW år 2100", se figur 2.

Vid simulering har havsnivåpeaken varit 26 timmar lång, vilket motsvarar den uppmätta händelsen den 6:e november 1985, se figur 1.



Figur 1 Uppmätt havsvattenstånd i Torshamnen vid tre olika tillfällen. (Klimatanalys för Västra Götalands län, SMHI 2011)

Vattennivå - Rosenlund - 26 timmar



Figur 2 Den modifierade tidsserien för havsnivåpeak enligt grafen från 1985-11-06, vilken används som randvillkor. Denna version är modifierad för att vara i 26 timmar.

För de olika scenarierna ansätts förutbestämda flöden som randvillkor i MIKE 11 och MIKE 21 modellen, se tabell 2. Dessa randvillkor är framtagna baserade på SMHI:s uppskattning av flöden i älven och åarna.

SMHI's klimatanalys¹ för Västra Götaland visar (se figur 5.4-5 och 5.4-6 i klimatanalysen) att medelflödet MQ för både Mölndalsån och Sävån är oförändrat år 2100. Figurerna visar dock att medelvattenföringen vintertid år 2100 blir 30-50 % högre än dagens medelvattenföring. Detta säger egentligen inte något om förändringen i höglödessituationer, eftersom SMHI inte har analyserat detta. Ett rimligt antagande, som också diskuterats med SMHI (Jonas German), är att anta att samma förändring för medelvattenföringen vintertid kan appliceras på ett tvåårs flöde, eftersom ett tvåårsflöde inte kan betraktas som extremt. Med ett tvåårsflöde menas det flöde som statistisk sett har en återkomsttid på 2 år.

Flödesstatistik från vattenweb.smhi.se för Mölndalsån visar att höglöde med tvåårs återkomsttid är 20,3 m³/s. Höglödet för Mölndalsån år 2100 blir därmed omkring 26 m³/s med en 30 % ökning. Motsvarande för Sävån, som idag har ett höglöde på 53 m³/s, ger ett höglöde på omkring 70 m³/s år 2100 med en 30 % ökning.

Liknande resonemang har använts för Kvillebäcken och Lärjeån. SMHI's Vattenwebb anger att medelflödet MQ för Kvillebäcken är 0,14 m³/s, vilket är detsamma som "MQ år 2100" eftersom ingen förändring antas enligt tidigare resonemang. Detsamma gäller för Lärjeån där MQ och "MQ år 2100" är 2,1 m³/s. HQ för Kvillebäcken är 1,6 m³/s och för Lärjeån 13,4 m³/s. Detta innebär att "HQ år 2100" är 1,6 m³/s * 1,3 = 2 m³/s för Kvillebäcken och 13,4 m³/s * 1,3 = 17,4 m³/s för Lärjeån.

SMHI's Vattenwebb anger att 2 års höglöde i Göta Älv norr om Kungälv är omkring 845 m³/s. I Nordre älv, nedströms Kungälv, finns den sk Ormoskärmen. Skärmen reglerar flödet i Nordre älv och styr därigenom flödesfördelningen mellan Nordre älv och Göta älv. Syftet är att motverka saltvatteninträngning i Göta älvs östra gren (Göteborgsgrenen) och minska påverkan på Göteborgs stads råvattenintag vid Lärjeholm. Den resterande tredjedelen rinner vidare i Göta Älv förbi Göteborg. Detta betyder att 2 års höglöde i Göta Älv förbi Göteborg är 285 m³/s. Vid 50 % avledning antas flödet modelltekniskt vara 142,5 m³/s i Göta Älv förbi Göteborg. Vid 100 % avledning är den 0 m³/s.

Flöde	Vattendrag	Beteckning	Värde
Medel	Mölndalsån	MQ2100	4,2 m ³ /s
Medel	Sävån	MQ2100	20,9 m ³ /s
Medel	Lärjeån	MQ2100	2,1 m ³ /s
Medel	Kvillebäcken	MQ2100	0,14 m ³ /s
Medel	Göta Älv	MQ2100	190 m ³ /s
Medel, 50 %*	Göta Älv	MQ2100_50%	95 m ³ /s
Hög	Mölndalsån	HQ2100	26 m ³ /s
Hög	Sävån	HQ2100	70 m ³ /s
Hög	Lärjeån	HQ2100	17,4 m ³ /s
Hög	Kvillebäcken	HQ2100	2 m ³ /s
Hög	Göta Älv	HQ2100	285 m ³ /s
Hög, 50 %*	Göta Älv	HQ2100_50%	142,5 m ³ /s

Tabell 2 Översikt av flöde i åarna/älven som används vid simulering.

* Procentuell avledning av vatten till havet via Nordre Älv vid Jordfallsbron.

¹ <http://www.lansstyrelsen.se/vastragotaland/SiteCollectionDocuments/Sv/miljo-och-klimat/klimat-och-energi/klimatanalys-smhi-vastragotaland.pdf>

I Simuleringsuppdrag 4a används en MIKE 11 och en MIKE 21 modell. Dagvatten antas endast komma från områden med separat dagvattenhantering. Dessutom antas en konstant regnintensitet på 65 mm/dygn, vilket motsvarar ett 10 års regn fördelat på ett dygn. Det regn som faller i områden med kombinerat avloppssystem antas rinna eller pumpas till Ryaverket. Regnintensiteten antas vara tillräckligt låg för att bräddning inte ska ske ut till Göta Älv.

Arean för de detaljplanelagda områdena i Göteborg har beräknats. Dessa områden har även klassificerats efter hur stor andel hårdgjorda ytor de har. Därmed har den totala reducerade ytan kunnat beräknas, dvs den yta som bidrar till den snabba avrinningen i Göteborgsområdet.

Inom modellområdet finns ca 6130 ha detaljplanelagda områden, varav ca 2665 ha är hårdgjord yta. Med en regnintensitet på 65 mm/dygn och en hydrologisk reduktionsfaktor på 0,8 blir flödet till Göta Älv ca 16 m³/s. Det skall dock poängteras att det finns en stor osäkerhet i detta flöde, då flera grova antaganden har gjorts, men storleksordningen bedöms vara rimlig.

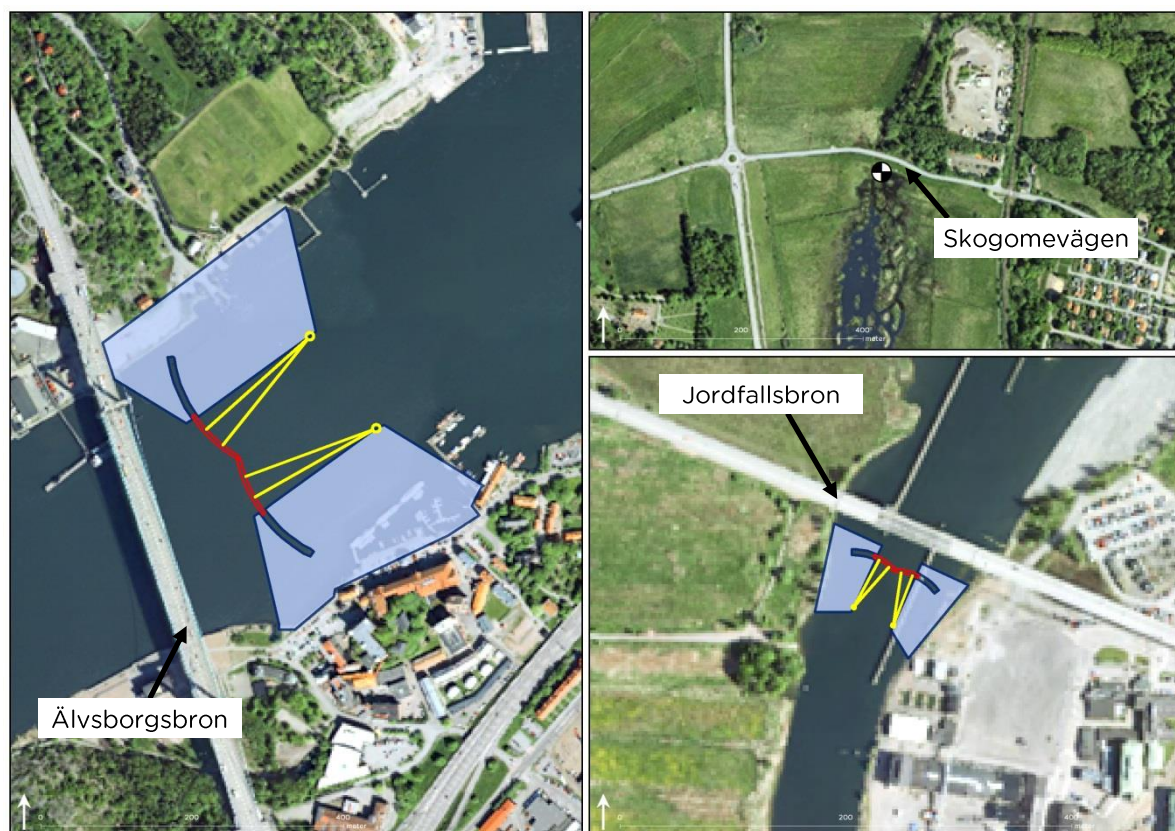
Parameter	Värde
Yta med separat avloppssystem	6130 ha
Reducerad yta	2665 ha
Andel hårdgjord yta	43 %
Regnintensitet	65 mm/dygn
Beräknat flöde	20 m ³ /s
Reduktionsfaktor	0,8
Reducerat flöde	~16 m³/s

Tabell 3 Total och reducerad yta med separat dagvattenhantering i Göteborgsområdet inom modellområdet. Med en regnintensitet på 65 mm/dygn blir flödet omkring 16 m³/s.

3. STORBARRIÄR

3.1 Storbarriär

För att skydda Göteborgsområdet vid framtida högvatten i Kattegatt är en möjlighet att etablera en s.k. Storbarriär vid Älvsborgsbron, se figur 3. Göta Älv är en farled av riksintresse och Storbarriären skall därför vara öppningsbar. Den föreslagna lösningen är att etablera en barriär liknande Maeslantbarriären utanför Rotterdam. Denna består av två välvda ståldörrar som roterar runt en axel. De två ståldörrarna roteras ut i den öppna delen av barriären och stängs. Ståldörrarna är ihåliga och flyter på vattnet då de roteras till stängt läge. När portarna nästan är stängda fylls de med vatten och sjunker till botten. Vattentrycket som skapas då havsnivån stiger utanför barriären, pressar ståldörrarna mot varandra och hjälper till att hålla barriären stängd. Vid normal havsnivå roteras ståldörrarna bort från farleden och förvaras i två torrdockor vid sidan om den öppna delen av barriären. I torrdockan kan vattnet pumpas ut och ståldörrarna kan förvaras torrt så att korrosion förhindras. Fördelen med denna typ av barriär är att den inte är ett hinder i farleden då den är öppen. Nackdelen är att barriären inte kan passeras då barriären hålls stängd vid högvatten i havet.



Figur 3 Översikt av förslag till Storbarriär vid Älvsborgsbron och Jordfallsbron samt lucka vid Skogomevägen.

För att begränsa behovet av pumpkapacitet för Storbarriären vid Älvsborgsbron föreslås att mer vatten avleds från Göta Älv till Kattegatt via Nordre Älv. I framtiden kommer vattennivån i Kattegatt tvinga in mer vatten i Göta Älv, uppströms Storbarriären vid Älvsborgsbron. En yttre barriär medför att tillflödet i Göta älv måste hanteras under stängningsperioder. Tillflödet kan antingen hanteras genom pumpning, flödesreglering av Göta älv från Väneren eller att mer av flödet avlänkas via Nordre älv. En tänkbar lösning för större avledning via Nordre älv vore att etablera en barriär vid förgreningen mellan Nordre och Göta älv, exempelvis vid Jordfallsbron i Bohus. Det finns därför behov av att etablera en mindre barriär söder om Jordfallsbron, för att begränsa vattenflödet in i Göta Älv ytterligare. Barriären föreslås etableras med samma metod som vid Älvsborgsbron, med välvda ståldörrar som kan stängas vid högvatten i Kattegatt. Det

bästa vore om flödet in till Göta Älv kunde strypas helt, men detta skulle innebära en ökad risk för översvämning längs Nordre Älv. Kartläggningen av denna risk har inte varit en del av Simuleringsuppdrag 4a. Om flödet inte kan strypas helt måste en del av vattnet kunna släppas igenom barriären vid Jordfallsbron. Detta är möjligt att åstadkomma genom att delvis pumpa ut vattnet i de ihåliga ståldörrarna som då flyter upp och släpper igenom vatten under barriären. Eftersom detta skulle medföra en större risk för översvämning i Göteborg, kan vattnet även behöva pumpas förbi barriären vid Älvsborgsbron.

Storbarriären skapar en stor magasinvolym i Göta Älv där det vatten som kommer från Mölndalsån, Säveån, Kvillebäcken och Lärjeån kan lagras, men det är ändå risk för att magasineringsvolymen inte är tillräcklig vid de tillfällen då flödet i vattendragen är stort och barriären behöver stängas en längre tid. Det betyder att Göteborg riskerar att översvämmas även med en Storbarriär. Därför rekommenderas att en pumpstation etableras som kan pumpa vattnet över barriären och därmed förlänga den tid det tar för att magasinvolymen att fyllas. Om det krävs att barriären vid Jordfallsbron delvis står öppen är det helt nödvändigt att etablera en pumpstation. Pumpstationen föreslås etableras i anslutning till Storbarriären vid Älvsborgsbron, eftersom Göta Älv är bred där och det finns mer plats att bygga en pumpstation.

Det finns en mindre risk att vatten ska ta sig till Göta Älv via Kvillebäcken, som har utlopp i både Göta Älv och Nordre Älv med en vattendelare i höjd med Skogome. Skogomevägen och Finlandsvägen som korsar Kvillebäcken har emellertid tillräckligt höga vallar för att hindra vattnet från att passera över krönet vid högvatten i Kattegatt. Genom att etablera en stängningsbar lucka vid förslagsvis Skogomevägen kan risken för att vattnet ska komma in till Göta Älv denna väg elimineras. Kvillebäcken ska enligt uppgift även vara uppdämd någonstans mellan Finlandsvägen och Skogomevägen. Nivån för dämningen bör undersökas för att klargöra om den klarar översvämning upp till +2,55 m redan idag.

Föreslagna lägen för både barriären vid Älvsborgsbron och vid Jordfallsbron är principiella och det finns flera möjliga alternativa placeringar i närheten av den placering som föreslås i denna rapport. Ett förslag är att placera barriären väster om Älvsborgsbron istället för öster om denna respektive norr om Jordfallsbron istället för på södra sidan. Det finns inga modelltekniska orsaker som gör att en justering av barriärernas lägen skulle påverka resultaten i de simulerade scenarierna. Möjligen skulle resultaten bli minimalt bättre, eftersom lite större magasineringsvolym skapas genom att flytta ut barriärerna något. Men denna effekt är i stort sett försumbar i sammanhanget.

3.2 Drift av Storbarriären

I enlighet med driften av Maeslantbarriären² bör driften av Storbarriären styras av ett övervakningssystem, som dygnet runt kontrollerar aktuella väderprognoser och som förutspår behovet av att stänga barriären. Förslagsvis kan detta implementeras i samarbete med SMHI, som redan idag utför denna typ av prognoser. Liksom för Maeslantbarriären bör varningssystemet för stängning utföras i följande steg:

1. 6 timmar innan stängning skickas en varning till driftsoperatörerna att de ska infinna sig vid barriärerna för att förbereda stängning
2. 4 timmar innan stängning meddelas fartygen att barriären kommer att stängas
3. 2 timmar innan stängning är det inte tillåtet att passera barriären

Stängningstiden för Maeslantbarriären är 2,5 timmar från det att ståldörrarna har börjat roteras mot stängt läge tills barriären är helt stängd. Ståldörrarna, som är ihåliga, flyter på vattnet tills de är några meter från varandra och fylls sedan med vatten så att de sjunker till botten. Botten

² Källa: Carola van Delden, het Keringhuis, Publiekscentrum Water (e-mail korrespondans)

är utgrävd och uppbyggd så att ett stabilt fundament till barriären skapats. Stängningstiden för en Storbarriär vid Älvsborgsbron uppskattas till omkring 1,5 timme, eftersom den skulle vara mindre än hälften så stor som Maeslantbarriären. För en barriär vid Jordfallsbron uppskattas stängningstiden till ungefär en timme.

Antalet nödvändiga resurser för att stänga barriären beror på hur Storbarriären slutgiltigt kommer att utformas. Om utformningen liknar Maeslantbarriären behövs troligtvis fyra arbetslag, ett för varje ståldörr och barriär (Älvsborgsbron och Jordfallsbron), som sköter in och utpumpning av vatten i ståldörrarna under stängning och öppning. Varje arbetslag föreslås bestå av en arbetslagschef, en operatör och en tekniker/reparatör. Därutöver behövs en överordnad operatörsgrupp, som koordinerar arbetet med att stänga stålportarna och som håller kontakten med berörda fartyg. Operatörsgruppen föreslås bestå av 5 personer och denna bedöms kunna övervaka båda barriärerna. Detta ger en total bemanningsstyrka på 17 personer för båda barriärerna och luckan i Kvillebäcken.

4. MODELLUPPBYGGNAD

4.1 Generellt

För modelluppbyggnad används en eller flera delmodeller. Modellerna kan kopplas ihop två-och-två eller tre-och-tre. Ändamålet med simuleringsuppdraget avgör vilken typ av modell som ska användas.

Ledningsnätsmodell (1D)

För att beskriva urbana avrinningsområden och vattenföring i avloppsledningar används en **MIKE Urban** modell. MIKE Urban modellen innehåller hydrologiska avrinningsområden. Dessa avrinningsområden byggs företrädesvis upp utifrån fastighetskartan, eftersom de flesta fastigheter har en och samma anslutningspunkt till det kommunala ledningsnätet. Större fastigheter kan ha flera anslutningspunkter till ledningsnätet. Om information finns angående anslutningspunkterna kan därmed större fastigheter delas upp utifrån hur stor andel av fastigheten som är ansluten till varje punkt.

I MIKE Urban modellen kan även avloppssystemet beskrivas. I modellen beskrivs nedstigningsbrunnar, avloppsledningar, utlopp, bräddavlopp, pumpstationer, spjäll och backventiler.

Vattendragsmodell (1D)

För att beskriva vattenföring i vattendrag används en **MIKE 11** modell. I MIKE 11 modellen beskrivs vattendragets sträckning och med jämna mellanrum definieras vattendragets tvärsnittsytta. Till modellen kan uppströms- och nedströmsrandvillkor kopplas, såsom flöde eller vattennivå.

Urban översvämningsmodell (2D)

För att beskriva vattenströmning på markytan används en **MIKE 21** modell. Till skillnad från ledningsnätsmodellen och vattendragsmodellen beskriver MIKE 21 modellen strömning i två riktningar. MIKE 21 modellen byggs upp utifrån en höjdmodell, som innehåller information om terrängens plushöjd på olika platser. MIKE 21 modellen som används är en s.k. Classic Grid, vilket betyder att modellen är uppbyggd av celler i ett raster. För varje cell finns den genomsnittliga höjden som täcks av cellområdet.

Kopplad modell

MIKE Urban, MIKE 11 och MIKE 21 kan kopplas ihop med ett verktyg som kallas **MIKE Flood**. Två eller tre modeller kan kopplas ihop till en MIKE Flood modell. Vid koppling ska utväxlingspunkter definieras, som beskriver hur vattnet transporteras mellan modellerna.

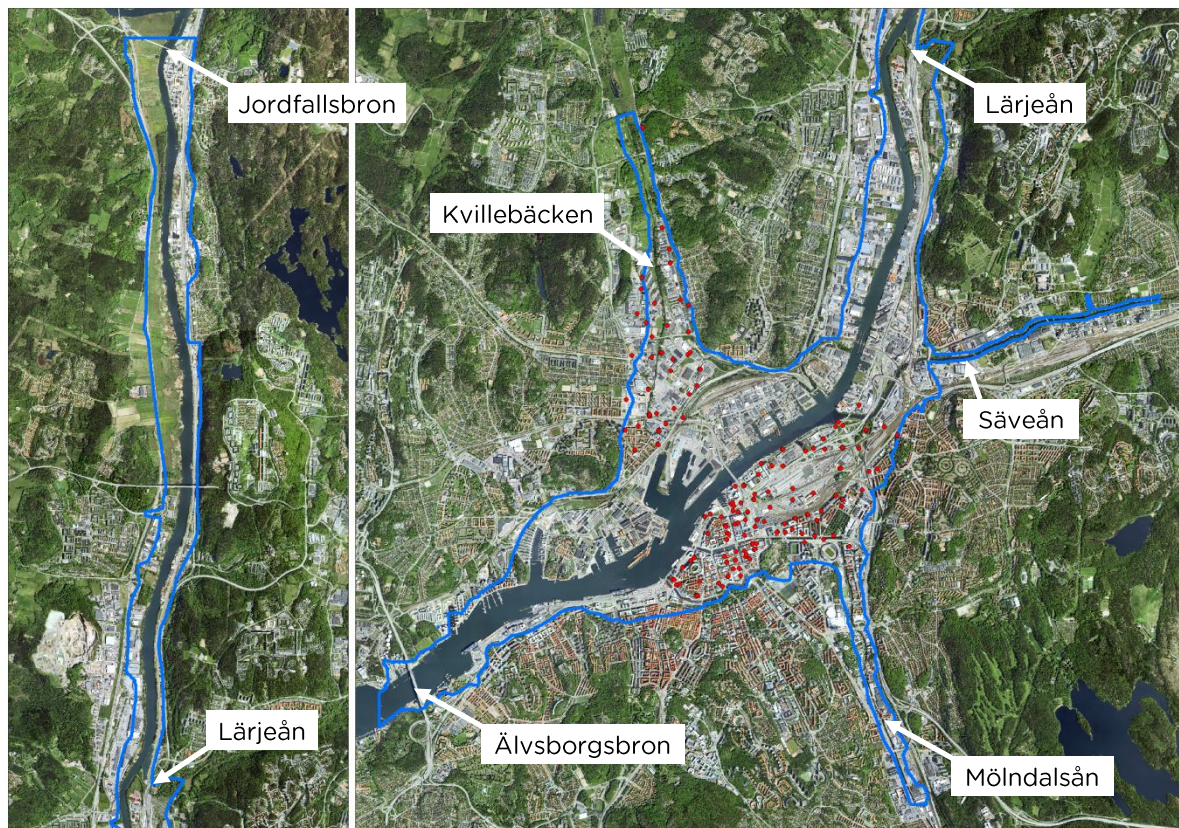
4.2 Simuleringsuppdraget

Hydromodellen i simuleringsuppdrag 4a är en sammansatt och utvidgad version av de två hydromodeller som använts i simuleringsuppdrag 3a och 3b. Modellerna är sammansatta till en modell eftersom både Mölndalsån/Säveån och Kvillebäcken har utlopp i Göta Älv. Utflöde från dessa vattendrag påverkar dynamiskt vattenbalansen i Göta Älv om en Storbarriär etableras vid Älvsborgsbron. Dessa vattendrag kommer att ligga bakom denna Storbarriär och därmed påverka vattenbalansen bakom Storbarriären negativt och höja vattennivån i Göta Älv när Storbarriären är stängd.

Hydromodellen är utvidgad för att beskriva Göta Älv och de lågt liggande områdena omkring älven ner till dess utlopp i Kattegatt sydväst om Älvsborgsbron, se figur 4. Denna utvidgning genomförs eftersom den föreslagna placeringen av en Storbarriär är strax uppströms Älvsborgsbron. Tanken är att mer vatten från Göta Älv avleds till Kattegatt via Nordre Älv vid Kungälv. För att uppnå detta måste en form av barriär även etableras här. Därför är hydromodellen utvidgad med en beskrivning av Göta Älv och de omkringliggande lågt liggande

områdena till en punkt strax norr om Jordfallsbron, se figur 4. Därmed tar hydromodellen hänsyn till att det finns en stor magasineringsvolym mellan de två barriärerna.

Även Lärjeån har utlopp till Göta Älv och flödet från ån måste också magasineras i Göta Älv. Det finns idag en väldigt liten andel hus som ligger i de låglänta områdena av Lärjeåns utlopp till Göta Älv. Därför har det bedömts att en separat Mike 11 modell för Lärjeån inte är nödvändig. Istället tillförs flödet som motsvarar Lärjeåns utlopp i Göta Älv direkt till MIKE 21 modellen. Därmed tas utflödet från Lärjeån i beaktning med hänsyn till magasineringen i Göta Älv.

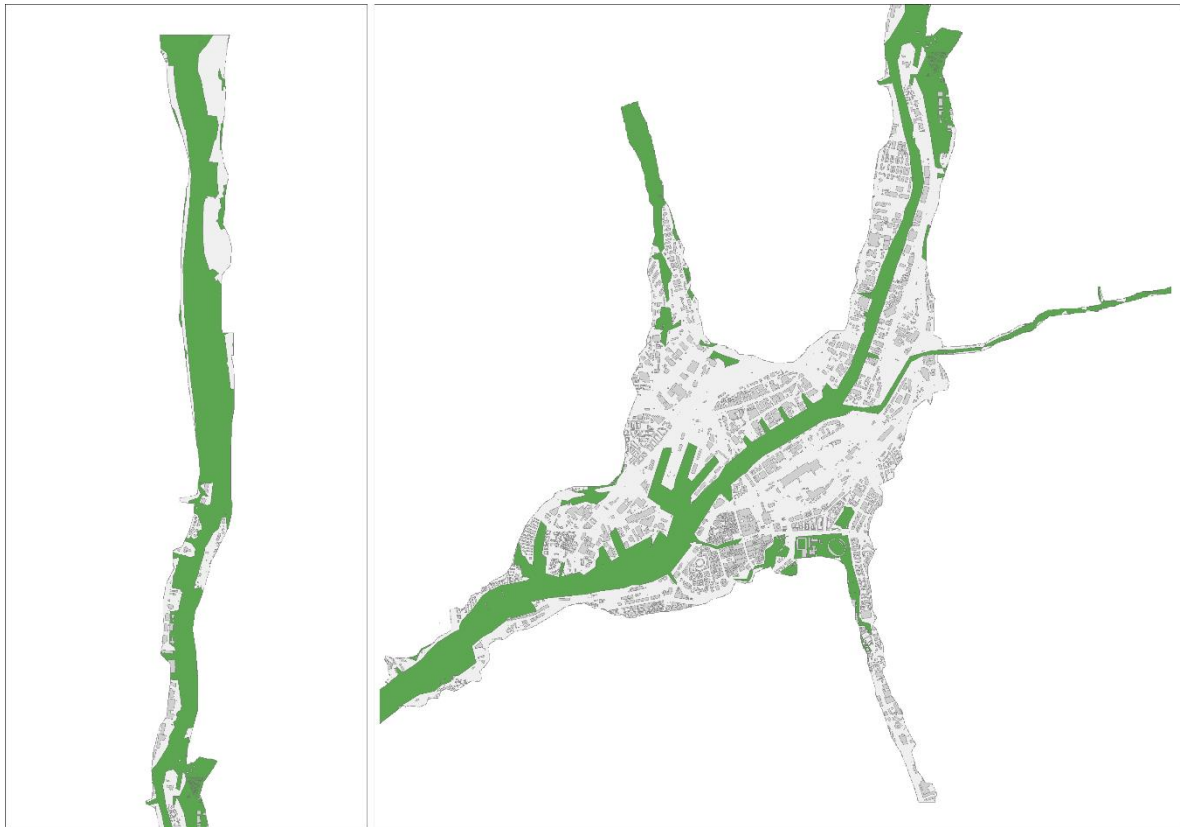


Figur 4 Modellområdet är avgränsat av den blåmarkerade linjen. MIKE 11 modellerna sträcker sig dock delvis utanför detta område. De röda cirklarna representerar de kritiska objekten i centrala Göteborg.

I det omformade modellområdet utgörs markanvändningen till 48 % av hårdgjord yta, 13 % av byggnader och 39 % är nateryta. I figur 5 kan fördelningen mellan de olika markanvändningstyperna utläsas.

Markanvändningskategori	Area	Andel
Byggnader	311,1 ha	13 %
Hårdgjord yta	1 153,9 ha	48 %
Nateryta	948,1 ha	39 %
Totalt	2 413,1 ha	100 %

Tabell 4 Area och andel mellan olika markanvändningstyper i Område A



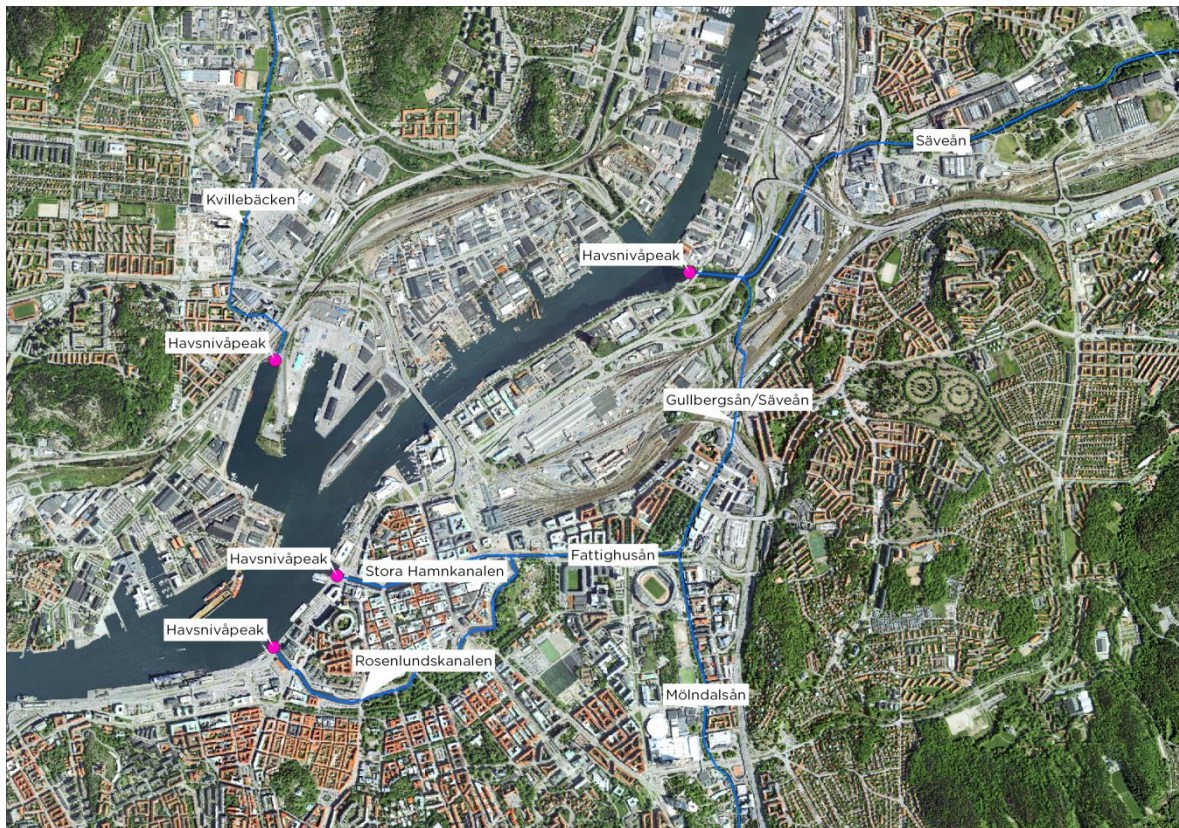
Figur 5 Översikt av markanvändning i Område A. Naturyta är markerad med grön färg, byggnader är markerade med mörkgrå färg och hårdgjord yta är markerad med ljusgrå färg.

4.3 Vattendragsmodellen

MIKE 11 modellen i Simuleringsuppdrag 4a består av en sammansättning av MIKE 11 modellerna från Simuleringsuppdrag 3a och 3b. Denna modell beskriver därmed Mölndalsån, Gullbergsån, Norra Hamnkanalen/Fattighusån, Vallgraven/Rosenlundskanalen, Säveån och Kvillebäcken, se figur 6. Vattendragens utlopp kopplas till MIKE 21 modellen som beskriver Göta Älv. Om vattennivån i Göta Älv stiger i modellen kan vattnet dämmas i vattendragen och orsaka översvämning uppströms.

Förutom vattendragen beskrivs även Storbarriären vid Älvsborgsbron i MIKE 11 modellen eftersom denna ska kunna stänga och öppna efter givna kriterier. Barriären är inställd på att stänga om vattennivån i Kattegatt överstiger +1,3 m RH2000. Om vattennivån är högre uppströms barriären öppnas den delvis för att jämna ut vattennivån uppströms och nedströms barriären. När vattennivån är utjämnad stängs barriären igen. Om vattennivån är högre nedströms barriären hålls porten helt stängd.

Barriären vid Jordfallsbron är inte en del av MIKE 11 modellen, utan flödet genom denna barriär styrs istället med ett randvillkor i MIKE 21 modellen.

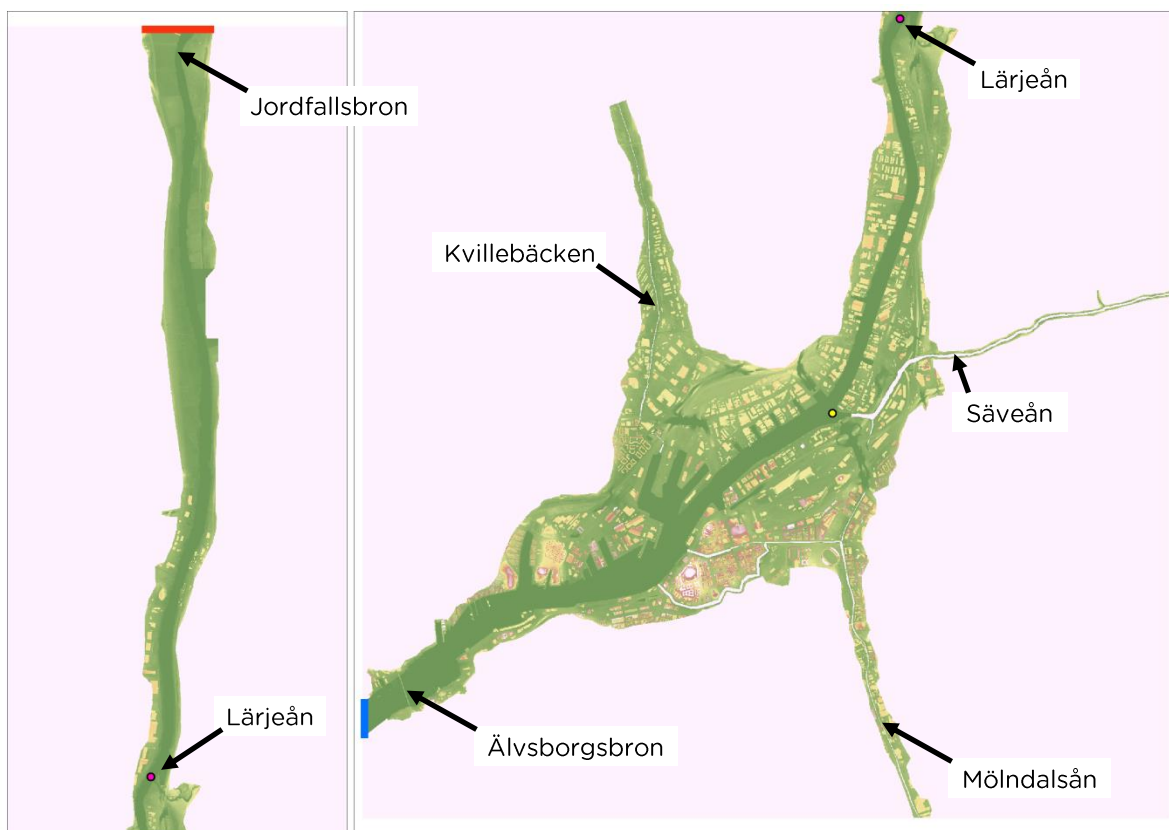


Figur 6 Översikt av vattendragen i MIKE 11 modellen.

4.4 Översvämningsmodellen

Översikten av MIKE 21 modellen som används vid simulering av Göta Älv och tillrinnande vattendrag visas i figur 7. Den blå linjen visar var vattennivån nedströms kopplas till MIKE 21 modellen som randvillkor (vattenstånd Rosenlund/Eriksberg ur parameterlista). Den röda linjen visar var flödet uppströms kopplas till MIKE 21 modellen som randvillkor (flöde Göta Älv ur parameterlista). Den rosa pricken visar var flödet från Lärjeån är kopplat till MIKE 21 modellen. Den gula pricken visar var regnbelastningen till Göta Älv kopplas. Flödet från vattendragen i MIKE 11 modellen tillkommer vid vattendragens utlopp till Göta Älv.

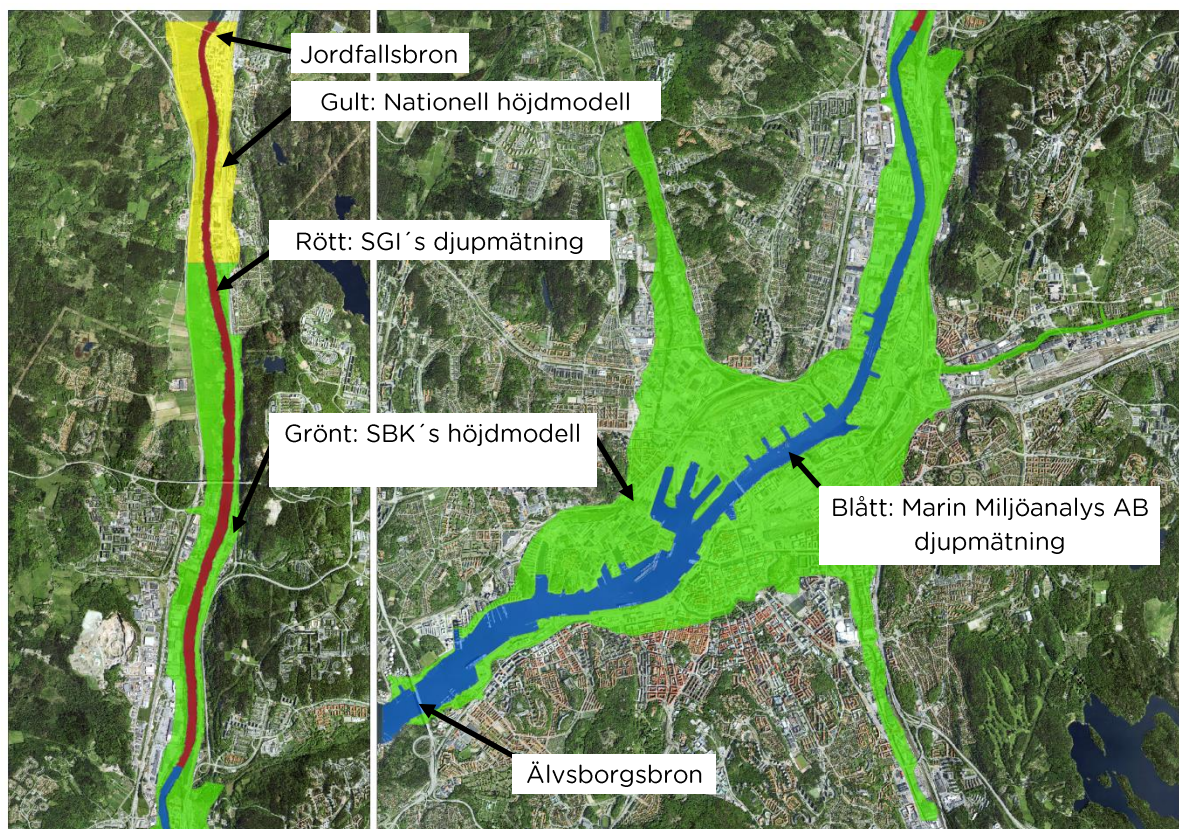
MIKE 21 modellen används som två modeller i en. Modellens främsta uppgift är att beskriva översvämningen på terrängen runt vattendragen. Om vattennivån i något av vattendragen i MIKE 11 modellen stiger högre än omkringliggande terräng så överförs denna vattenmängd till MIKE 21 modellen och en översvämning simuleras. Modellens andra uppgift är att beskriva flödet och magasinering av vattnet i Göta Älv. I den del av MIKE 21 modellen som beskriver Göta Älv är terrängnivån under höjd 0 m RH2000. Denna del av MIKE 21 modellen fylls upp med vatten innan simuleringen startar. Göta Älv skulle kunna beskrivas i MIKE 11 modellen, men eftersom det finns flera hamnbassänger och för att bättre kunna simulera översvämningar från Göta Älv valdes istället att beskriva Göta Älv i MIKE 21 modellen.



Figur 7 Översikt av MIKE 21 modellen som används vid simulering av Göta Älv och tillrinnande vattendrag. Den blå linjen visar var vattennivån nedströms kopplas till MIKE 21 modellen som randvillkor (vattenstånd Rosenlund/Eriksberg ur parameterlista). Den röda linjen visar var flödet uppströms kopplas till MIKE 21 modellen som randvillkor (flöde Göta Älv ur parameterlista). Den rosa pricken visar var flödet från Lärjeån är kopplat till MIKE 21 modellen. Den gula pricken visar var regnbelastningen till Göta Älv kopplas.

MIKE 21 modellen är en sammansättning av de MIKE 21 modeller som användes i Simuleringsuppdrag 3a och 3b. Den har även utvidgats för att täcka området ner till och väster om Älvsborgsbron samt upp till och norr om Jordfallsbron. För att minska beräkningstiden för modellen har upplösningen ökat från 4 m till 6 m i Simuleringsuppdrag 4a. Skyddsvallar för Götatunneln, Tingstadstunneln och längs med Mölndalsån har kontrollerats i modellen för att säkra att de fortfarande skyddar upp till rätt höjd. Kontrollen behövs eftersom det vid konvertering från en upplösning på 4 m till 6 m finns risk att skyddsvallarnas maxnivå sänks eftersom den omkringliggande terrängen är betydligt lägre än skyddsvallen och skyddsvallarna är smalare än 6 meter.

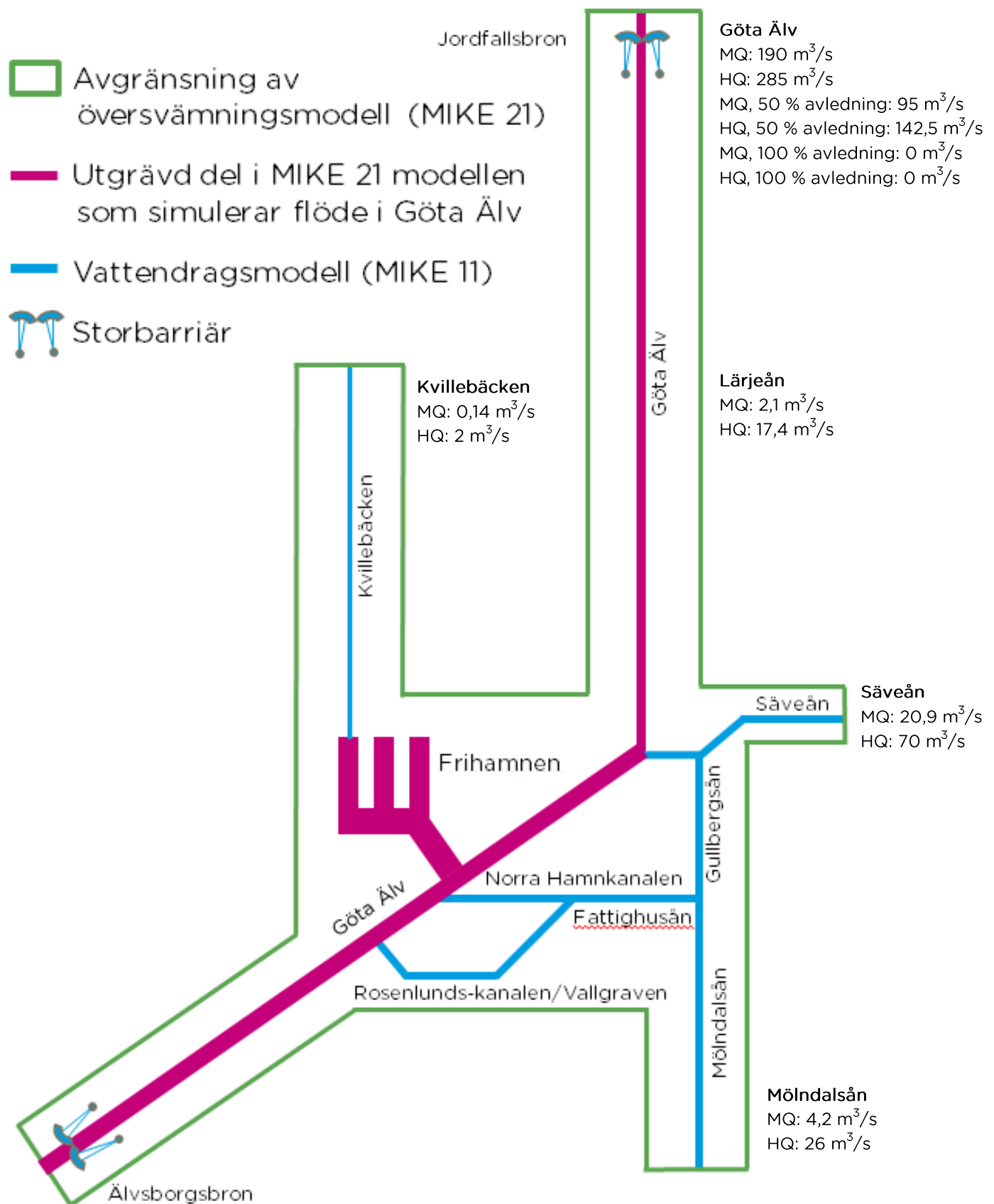
För att bygga upp MIKE 21 modellen för hela Område A har flera olika källor använts, se figur 8. Primärt har Stadsbyggnadskontorets egen höjdmodell använts, eftersom den har en högre upplösning i Göteborgs kommun jämfört med den nationella höjdmodellen. För att förlänga modellen upp till Jordfallsbron var det dock nödvändigt att använda den nationella höjdmodellen för den nordligaste delen. För den del av MIKE 21 modellen som beskriver Göta Älv används primärt djupdata uppmätt av Marin Miljöanalys, som har mätt Göteborgs hamn upp till Lärjeåns utlopp. Norr om Lärjeåns utlopp används istället djupdata från SGI.



Figur 8 Översikt av de olika källor som har använts i uppbyggnaden av MIKE 21 modellen

4.5 Sammansatt modell

Figur 9 visar en principiell översiktsbild av modelluppsättningen. MIKE 11 modellen är uppbyggd av flera delmodeller över Mölndalsån, Gullbergsån, Fattighusån/Norra Hamnkanalen, Rosenlundskanalen/Vallgraven, Säveån och Kvillebäcken. Alla vattendrag har utlopp i MIKE 21 modellen. MIKE 21 modellen beskriver både terrängen runt vattendragen och Göta Älv, men också själva Göta Älv. Den del av MIKE 21 modellen som utgörs av Göta Älv fylls med vatten från starten av simuleringen. Området nedströms Storbarriären vid Älvsborgsbron etableras i MIKE 11 modellen, eftersom den då kan öppnas och stängas efter givna villkor. Barriären vid Jordfallsbron har ingen fysisk beskrivning i modellen, utan inflöde från Göta Älv definieras genom ett randvillkor i MIKE 21 modellen med hjälp av en tidsserie med det förutbestämda flöde som skall släppas igenom.



Figur 9 Principiell modelluppbyggnad för simuleringsuppdrag 4a. Modellen består av en MIKE 11 och en MIKE 21 modell. Göta Älv är beskriven i MIKE 21 modellen, eftersom den har flera hamnbassänger som skulle varit svåra att beskriva i en MIKE 11 modell.

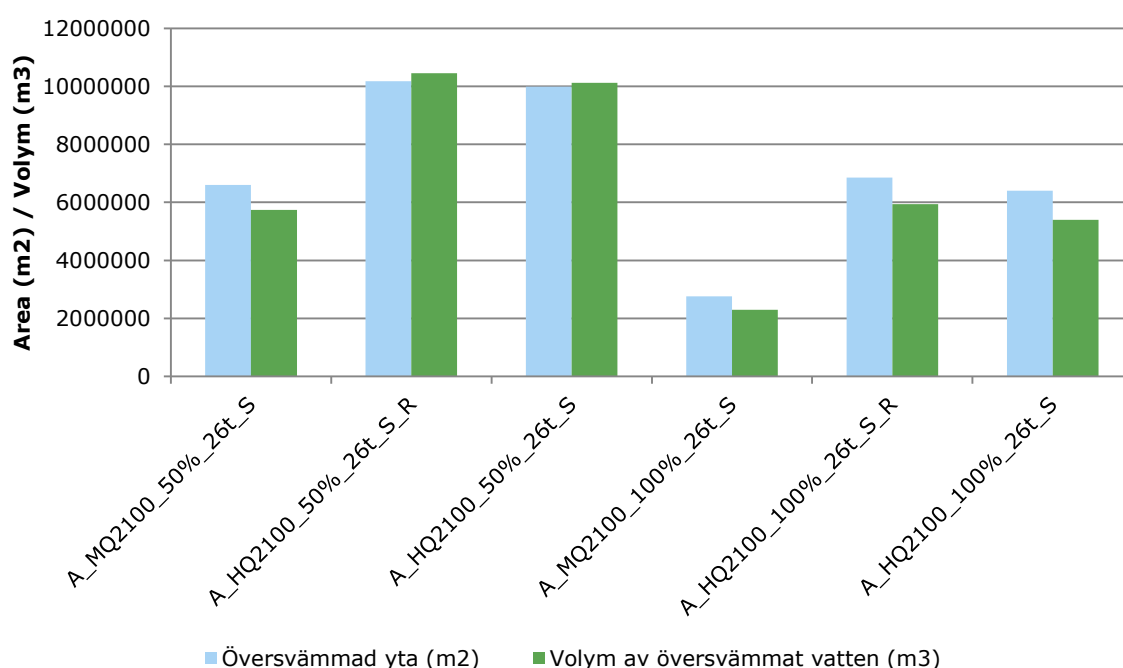
4.6 Excel modell

För att kunna genomföra en grov uppskattning av den maximala uppdämningsnivån bakom Storbarriären har en excelmodell skapats. Modellen är en bassängmodell som endast behöver information angående tillflöde bakom Storbarriären och en tidsserie för havsnivån utanför Storbarriären. Modellen är liksom Storbarriären i hydromodellen inställd på att stänga vid +1,3 m. Den tillgängliga magasineringsvolymen bakom Storbarriären har beräknats genom att en GIS-analys av höjderna i MIKE 21 modellen utförts. För varje tidssteg beräknas om det sker netto in- eller utflöde i magasinvolymen bakom Storbarriären och vattennivån bakom Storbarriären regleras därefter.

5. RESULTAT

5.1 Generellt

För hela modellområdet har den totala översvämmade ytan och volymen av det översvämmade vattnet beräknats för de genomförda simuleringarna, se figur 10. Simuleringarna har utförts enligt definitionen i tabell 5. Översvämningarna blir betydligt större om endast 50 % av Göta Älvs flöde avleds till Nordre Älv. Orsaken är att för mycket vatten hinner rinna in i Göta Älv via barriären vid Jordfallsbron. Detta gör att den tillgängliga magasineringensvolymen i Göta Älv blir uppfyllt för snabbt och effekten av Storbarriären blir därmed väldigt liten. Om istället 100 % av flödet i Göta Älv avleds via Nordre Älv sjunker den maximala nivån till +1,59 m vid medelflöde i vattendragen. Vid högflöde hålls den maximala översvämningarnivån nere på under +2,20 m, men även detta orsakar omfattande översvämningar.



Figur 10 Sammanställning av total översvämmad yta samt maximal volym översvämmade vatten inom modellområdet. % = Procentuell avledning av vatten till havet via Nordre Älv vid Jordfallsbron. S = Stängd barriär. R = Regn (16 m³/s)

Kart bilaga	Scenario	Flöde	Avledning *	Peak	Regn **	Max peak bakom barriär
56	A_MQ2100_50%_26t_S	Medel	50 %	26 t	Nej	+2,17 m
57	A_HQ2100_50%_26t_S_R	Hög	50 %	26 t	Ja	+2,54 m
58	A_HQ2100_50%_26t_S	Hög	50 %	26 t	Nej	+2,53 m
59	A_MQ2100_100%_26t_S	Medel	100 %	26 t	Nej	+1,59 m
60	A_HQ2100_100%_26t_S_R	Hög	100 %	26 t	Ja	+2,19 m
61	A_HQ2100_100%_26t_S	Hög	100 %	26 t	Nej	+2,12 m

Tabell 5 Översikt av simuleringar som är genomförda för år 2100 tillsammans med den maximala peaknivån bakom barriären. % = Procentuell avledning av vatten ut till havet via Nordre Älv vid Jordfallsbron. S = Stängd barriär. R = Regn (16 m³/s)

Vid medelflöde i vattendragen, utan tillförsel av ett regnflöde, och 50 % avledning av Göta Älvs flöde via Nordre Älv, översvämmas områden i och omkring Götaverken, Kvillebäcken, Frihamnsviadukten, Ringön, Masthugget, Haga, Hultmans Holme, Marieholms industriområde och Mölndalsån, se figur 11. De existerande permanenta och mobila skyddsvallarna skyddar redan idag stora delar av Gullbergsvass mot översvämning. Vid medelflöde i vattendragen och 50 % avledning av Göta Älvs flöde via Nordre Älv är översvämningsrisken betydligt lägre. Det är i stort sett endast Packhusplatsen, Hultmans Holme och Gamlestadstorget och mindre delar av Marieholms industriområde som bli översvämmat.



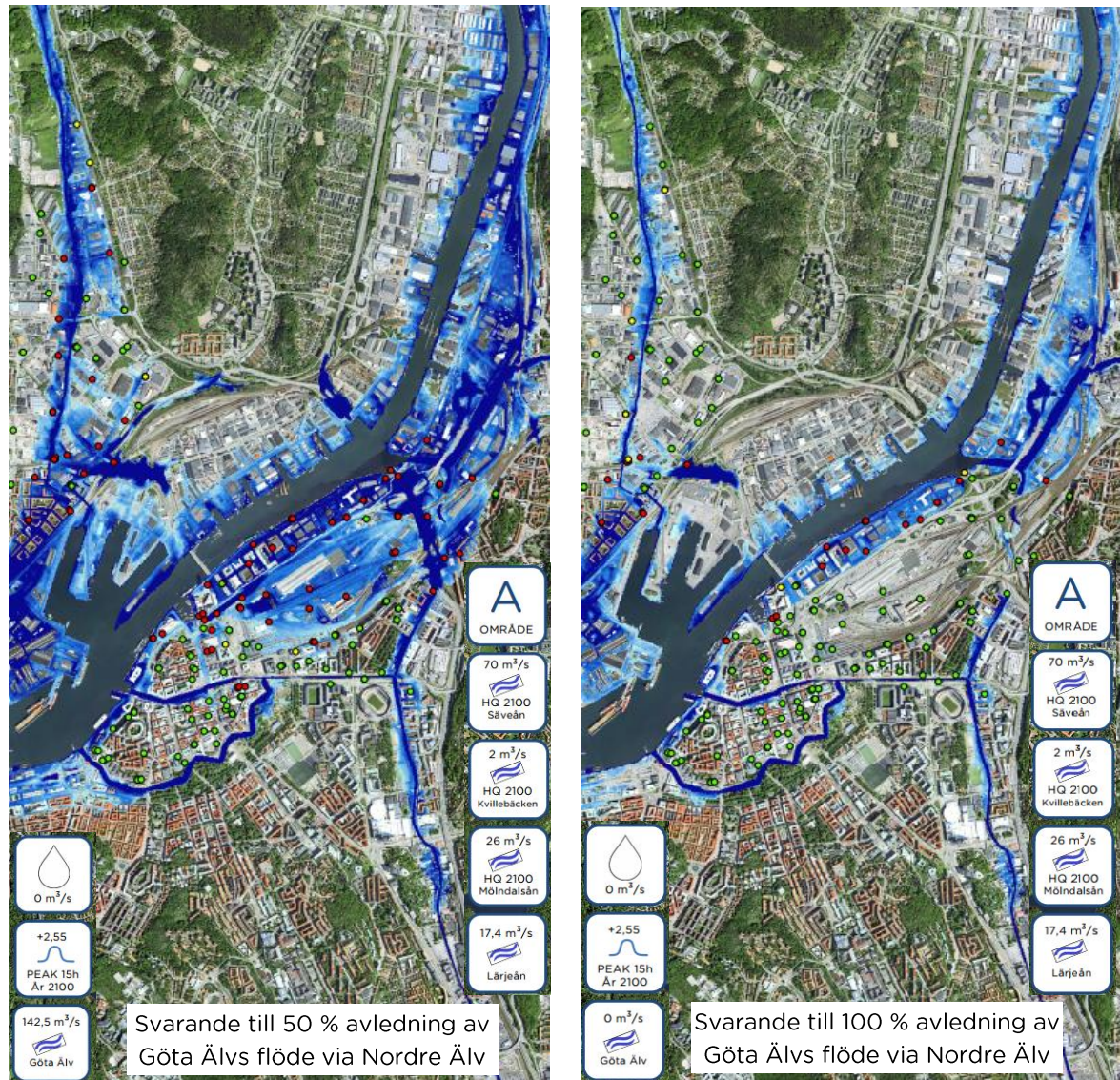
Figur 11 Maximal översvämning i Område A då flödet i Göta Älv avleddes till 50 % respektive 100 % via Nordre Älv. Flödet i tillrinnande vattendrag till Göta Älv är satt till dess medelflöde (MQ). I havet simuleras en 26 timmar peak upp till extrem nivå år 2100. Det antas att det är uppehållsväder under simuleringen. Se kartbilaga 1320001782-08-56 och 1320001782-08-59 för ett större utsnitt.

Vid högflöde i vattendragen och tillförsel av ett regnflöde översvämmas stora områden oavsett om avledning av Göta Älvs flöde via Nordre Älv är 50 % eller 100 %, se figur 12. Om avledningen är 100 % klarar sig Göta Tunneln från översvämning och en mycket mindre del av Gullbergsvass översvämmas. Dessutom undgår Tingstadstunneln översvämning eftersom vattennivån i Göta Älv är lägre än de existerande permanenta och mobila skyddsvallarna. Generellt reduceras översvämningarna i områdena längs Göta Älv när 100 % av flödet avleds, eftersom vattennivån i Göta Älv då blir ca 35 cm lägre.



Figur 12 Maximal översvämning i Område A då flödet i Göta Älv avleds till 50 % respektive 100 % via Nordre Älv. Flödet i tillrinnande vattendrag till Göta Älv är satt till dess högflöde (HQ). I havet simuleras en 26 timmar peak upp till extrem nivå år 2100. Dessutom tillförs konstant 16 m³/s som ett punktföde i Göta Älv för att simulera ett lågintensivt regnväder över hela Göteborgsområdet. Se kartbilaga 1320001782-08-57 och 1320001782-08-60 för ett större utsnitt.

I figur 13 visas samma översvämningresultat som i figur 12, fast utan det beräknade regnflödet på $16 \text{ m}^3/\text{s}$ för ett regn med $65 \text{ mm}/\text{dygn}$ i regnintensitet. Skillnaden i maximal vattennivå i Göta Älv är 7 cm , se tabell 5. Skillnaden i översvämning med respektive utan regn, är liten eftersom tillflödet från vattendragen procentuellt sett är mycket högre än regnflödet.



Figur 13 Maximal översvämning i Område A då flödet i Göta Älv avleds till 50 % respektive 100 % via Nordre Älv. Flödet i tillrinnande vattendrag till Göta Älv är satt till dess högflöde (HQ). I havet simuleras en 26 timmar peak upp till extrem nivå år 2100. Det antas att det är uppehållsväder under simuleringen. Se kartbilaga 1320001782-08-58 och 1320001782-08-61 för ett större utsnitt.

5.2 Kritiska objekt

Det finns totalt 174 kritiska objekt i Område A. En sammanställning av hur många som översvämmas i varje scenario presenteras i tabell 6. Generellt översvämmas fler kritiska objekt då endast 50 % av flödet i Göta Älv avleds via Nordre Älv. Detta beror på att magasineringens volym som finns tillgänglig i Göta Älv fylls snabbare då mer vatten kommer in vid Jordfallsbron söder om Kungälv. Skillnaden är stor oavsett om flödet i vattendragen ligger runt medelflödet eller högflödet.

Jämförelse av scenarier med högflöde visar att fler objekt översvämmas över sin kritiska nivå om det antas att det regnar 65 mm/dygn, vilket har beräknats motsvara 16 m³/s. Dock översvämmas drygt hälften så många objekt om 100 % av flödet i Göta Älv kan avledas via Nordre Älv i högflöde-scenarierna.

Scenario	Kritiskt översvämmad	Översvämmad	Inte översvämmad
A_MQ2100_50%_26t_S	29	7	138
A_HQ2100_50%_26t_S_R	85	6	83
A_HQ2100_50%_26t_S	78	5	91
A_MQ2100_100%_26t_S	6	3	165
A_HQ2100_100%_26t_S_R	31	7	136
A_HQ2100_100%_26t_S	29	9	136

Tabell 6 Sammanfattning av antal översvämmade kritiska objekt. S = Stängd barriär. R = Regn. % = Procentuell avledning av vatten till havet via Nordre Älv vid Jordfallsbron.

5.3 Pumpning i excelmodellen

Med den uppställda excelmodellen genomfördes simulering av samma scenarion som simulerades med hydromodellen. Den maximala vattennivån bakom Storbarriären jämfördes därefter för att kontrollera om resultaten från excelmodellen kunde användas för att göra grova uppskattningar av nödvändig pumpkapacitet för att ytterligare sänka vattennivån bakom Storbarriären. I tabell 7 visas en sammanställning av den maximala vattennivån bakom Storbarriären både i hydromodellen och i excelmodellen. Excelmodellen undervärderar vattennivån bakom Storbarriären något i förhållande till hydromodellen. Den huvudsakliga skillnaden ligger troligtvis i hur den tillgängliga magasineringens volym beräknas.

Scenario	Max peak bakom barriär i hydromodellen	Max peak i excel modell	Skillnad
A_MQ2100_50%_26t_S	+2,17 m	+2,12 m	-5 cm
A_HQ2100_50%_26t_S_R	+2,54 m	+2,44 m	-10 cm
A_HQ2100_50%_26t_S	+2,53 m	+2,41 m	-12 cm
A_MQ2100_100%_26t_S	+1,59 m	+1,71 m	+12 cm
A_HQ2100_100%_26t_S_R	+2,19 m	+2,15 m	-4 cm
A_HQ2100_100%_26t_S	+2,12 m	+2,10 m	-2 cm
	Genomsnitt		-3,5 cm

Tabell 7 Översikt av simuleringar som är genomförda för år 2100 tillsammans med den maximala peaknivån bakom barriären både med hydromodellen och excelmodellen. % = Procentuell avledning av vatten till havet via Nordre Älv vid Jordfallsbron. S = Stängd barriär. R = Regn (16 m³/s)

För att få en uppfattning om hur stor pumpkapacitet som skulle behövas för att förbättra effekten av en Storbarriär har olika scenarier med pumpar simulerats med excelmodellen. Det sista scenariot i tabell 7 används vid simuleringen av pumpar i excelmodellen nedan. Här är skillnaden mellan hydromodellen och excelmodellen endast 2 cm i den maximala vattennivån bakom Storbarriären. Följande förutsättningar har använts:

- 200 års havsnivåpeak år 2100, +2,55 m
- 26 timmars varaktighet på havsnivåpeaken
- Högflöde i vattendragen (Mölnålsån, Sävåån, Kvillebäcken och Lärjeån)
- Varierande avledning av flödet i Göta Älv via Nordre Älv

Dagens högsta högvatten (HHW) år 2014 är +1,85 m och har en återkomsttid på 200 år. HHW år 2100 är +2,55 m. Om det inte regnar samtidigt som HHW infaller år 2100 skulle en Storbarriär tillsammans med en pumpkapacitet på ca 75 m³/s bibehålla samma översvämningsrisk som år 2014, se tabell 8. Om det däremot regnar skulle det krävas att pumpkapaciteten ökas till ca 100 m³/s. Observera att osäkerheten i den maximala nivån bakom Storbarriären kan vara stor i excelmodellen, vilket kan utläsas ur tabell 7.

Pumpning	Avledning via Nordre Älv	Maxnivå bakom Storbarriär utan hänsyn till regn	Maxnivå bakom Storbarriär med hänsyn till regn
0 m ³ /s	100 %	+2,10 m	+2,15 m
25 m ³ /s	100 %	+2,01 m	+2,07 m
50 m ³ /s	100 %	+1,90 m	+1,98 m
75 m ³ /s	100 %	+1,79 m	+1,87 m
100 m ³ /s	100 %	+1,57 m	+1,75 m
0 m ³ /s	50 %	+2,41 m	+2,44 m
25 m ³ /s	50 %	+2,38 m	+2,40 m
50 m ³ /s	50 %	+2,33 m	+2,36 m
75 m ³ /s	50 %	+2,28 m	+2,32 m
100 m ³ /s	50 %	+2,23 m	+2,27 m

Tabell 8 Sammanställning av den maximala vattennivån bakom Storbarriären vid simulerade scenarier i excelmodellen med 100 % och 50 % avledning med och utan regnbelastning.

När Vätern tappas maximalt kan flödet i Göta Älv förbi Göteborg stiga till 400 m³/s 2014. År 2100 har antagits att vattendomen omförhandlats så att maxtappningen kan öka till 1700 m³/s vilket skulle ge ett flöde i Göteborgsgrenen på 570 m³/s. Excelmodellen har använts för att analysera konsekvenserna för olika pumpkapaciteter och maximal vattennivån bakom Storbarriären. Det antas att 50 % av flödet i Göta Älv förbi Göteborg avleds via Nordre Älv. Detta betyder att flödet i Göta Älv förbi Göteborg antas vara 200 m³/s 2014 och 285 m³/s 2100. Följande förutsättningar har använts vid simulering:

- 200 års havsnivåpeak år 2100, +2,55 m
- 26 timmars varaktighet på havsnivåpeaken
- Högflöde i vattendragen (Mölnålsån, Sävåån, Kvillebäcken och Lärjeån)
- 50 % avledning av flödet i Göta Älv via Nordre Älv
- Regnbelastning på 16 m³/s

Simulering av maximal tappnings och 50 % avledning av flödet via Nordre Älv visar att det krävs en väldigt stor pumpkapacitet för att begränsa översvämnarna i Göteborg, se tabell 9. Mindre översvämnarna uppstår redan vid +1,1 m på kyrkogården längs västra sidan av Gullbergsån och på racing banan i Frihamnen, men det är först vid +1,5 m de börjar bli omfattande. Även med en pumpkapacitet på 300 m³/s skulle stora delar av Göteborg vara översvämmat om Vätern tappas maximalt 2100 samtidigt som det är extremt högvatten i Kattegatt.

Pumpning	Avledning via Nordre Älv	Maxtappning av Vänern, 2014	Maxtappning av Vänern, 2100
		Maxnivå bakom Storbarriär	Maxnivå bakom Storbarriär
0 m ³ /s	50 %	+2,52 m	+2,60 m
25 m ³ /s	50 %	+2,48 m	+2,58 m
50 m ³ /s	50 %	+2,45 m	+2,56 m
75 m ³ /s	50 %	+2,41 m	+2,53 m
100 m ³ /s	50 %	+2,37 m	+2,49 m
125 m ³ /s	50 %	+2,33 m	+2,46 m
150 m ³ /s	50 %	+2,28 m	+2,42 m
175 m ³ /s	50 %	+2,23 m	+2,39 m
200 m ³ /s	50 %	+2,15 m	+2,35 m
225 m ³ /s	50 %	+2,07 m	+2,30 m
250 m ³ /s	50 %	+1,98 m	+2,25 m
275 m ³ /s	50 %	+1,87 m	+2,18 m
300 m ³ /s	50 %	+1,75 m	+2,11 m

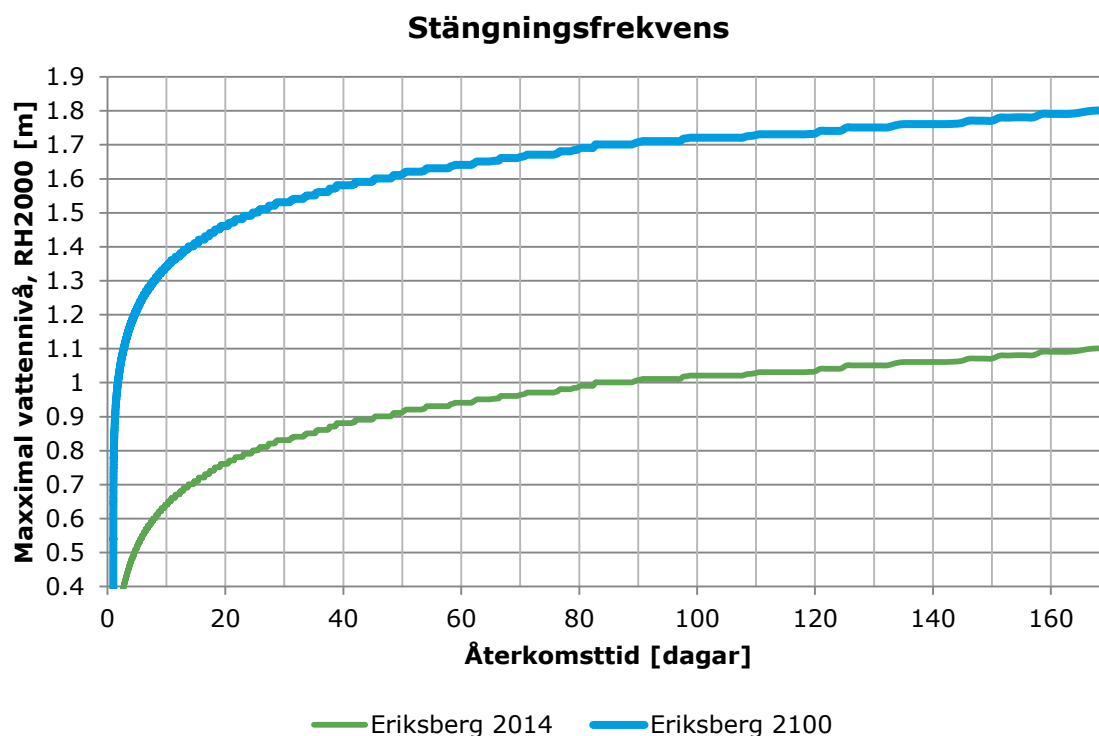
Tabell 9 Sammanställning av den maximala vattennivån bakom Storbarriären vid simulerade scenarier i excelmodellen med 50 % avledning och maximal tappning från Vänern.

5.4 Stängningsnivå

Vid simulering har Storbarriären stängts vid +1,3 m år 2100. Återkomsttiden för denna stängningsnivå 747 dagar (2 år) 2014 och 8 dagar 2100, se tabell 10 och figur 14. Om stängningsnivån höjs kommer även återkomsttiden för stängningsnivån att stiga och barriären behöver därmed inte stängas lika ofta.

Stängningsnivå	Eriksberg 2014	Eriksberg 2100
+1,3 m	747 dagar (2 år)	8 dagar
+1,4 m	1463 dagar (4 år)	14 dagar
+1,5 m	2250 dagar (6 år)	25 dagar
+1,6 m	3780 dagar (10 år)	45 dagar
+1,7 m	16800 dagar (46 år)	82 dagar
+1,8 m	Mätdata saknas	165 dagar

Tabell 10 Återkomsttid av stängningsnivå år 2014 och 2100



Figur 14 Stängningsfrekvens för olika stängningsnivåer år 2014 och 2100

5.5 Stängningsnivåns inverkan på skadekostnaden

I simuleringsuppdrag 5 har en Kostnads-Nyttö analys utförts. I samband med detta uppdrag kartlades skadekostnaderna om inget åtgärdsförslag etablerades i modellområde A. Samma skadekostnader används i detta avsnitt, men istället för att visa skadekostnaden som funktion av återkomsttiden används vattennivån. Genom att beräkna den maximala vattennivån bakom Storbarriären med excelmodellen vid olika stängningsnivåer kan stängningsnivåns inverkan på skadekostnaden analyseras. För mer information angående skadekostnaden hänvisas till rapport 1320001782-05-018_0_Simuleringsuppdrag_5.

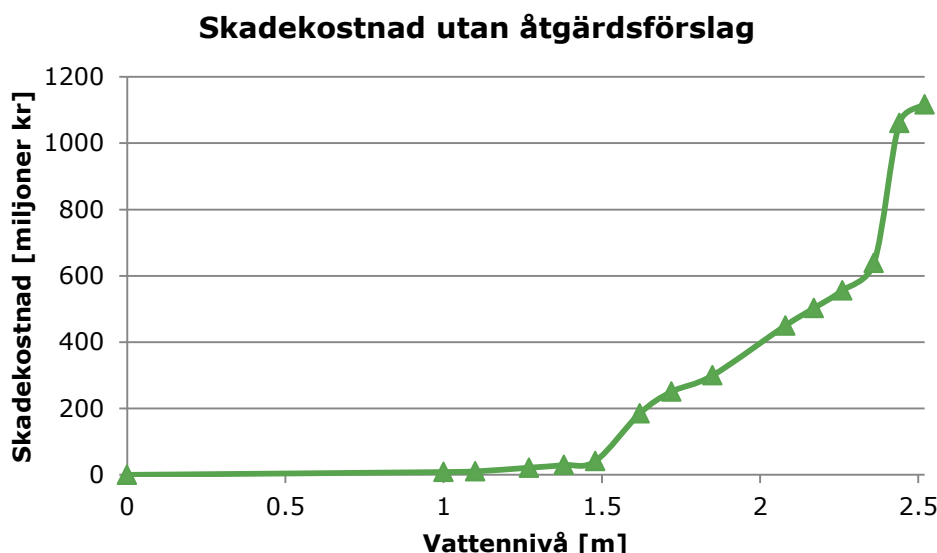
Figur 15 visar den totala skadekostnaden utan åtgärder vid olika vattennivåer. Skadekostnaden stiger markant vid en vattennivå över +1,5 m. Därefter stiger skadekostnaden nästan linjärt till omkring +2,4 m varefter den stiger kraftigt upp till omkring +2,5 m. Orsaken till att skadekostnaden stiger mer över +2,4 m är primärt att denna nivå motsvarar nivån för de existerande skyddsvallarna för Götatunneln, Tingstadstunneln och Olskroksmotet/Gullbergsmotet och därmed översvämmas stora delar av Gullbergsvass.

I excelmodellen simulerades stängningsnivåer från +1,3 till +1,8 m för två scenarier vid en havsnivåpeak med 200 års återkomsttid år 2100. Samtliga simuleringar i excelmodellen genomfördes med förutsättningarna att flödet i vattendragen var 2 års högflöde år 2100. Havsvattennivåpeaken varade 26 timmar och nådde en maximal nivå på +2,55 m. I det första scenariot (scenario 1) etablerades Storbarriären med 100 % avledning av flödet i Göta Älv via Nordre Älv. I det andra scenariot (scenario 2) etablerades Storbarriären med 100 % avledning av flödet i Göta Älv via Nordre Älv och en pumpstation på 100 m³/s.

I scenario 1 steg den maximala vattennivån bakom storbarriären från +2,15 m till +2,22 m om stängningsnivån ökades från +1,3 m till +1,8 m, se tabell 11. Skadekostnaden steg från 469 miljoner kr till 508 miljoner kr vilket är en ökning med 39 miljoner kr eller 8 %.

I scenario 2 steg den maximala vattennivån bakom Storbarriären från +1,75 m till +1,91 m om stängningsnivån ökades från +1,3 m till +1,8 m, se tabell 11. Skadekostnaden steg från 250 miljoner kr till 324 miljoner kr vilket är en ökning med 75 miljoner kr eller 16 %.

Skadekostnaden stiger mer i scenario 2 om barriären stänger vid en högre nivå. Fördelen med att ha en pumpstation minskar i scenario 2 när barriären stänger vid en högre nivå och därmed hålls stängd kortare tid. Pumpstationen hinner då inte sänka den stigande vattennivån bakom Storbarriären tillräckligt snabbt.



Figur 15 Skadekostnad utan åtgärdsförslag som funktion av vattennivån för modellområde A

	Stängningsnivå [m]	Max nivå [m]	Kostnad [miljoner kr]	Ökning i kostnad [miljoner kr]	Ökning i kostnad [%]
100 % avledning	+1,30	+2,15	469	0	0%
	+1,40	+2,16	474	5	+1%
	+1,50	+2,17	480	11	+2%
	+1,60	+2,18	485	16	+4%
	+1,70	+2,19	491	22	+5%
	+1,80	+2,22	508	39	+8%
100 % avledning och pumpning 100 m ³ /s	+1,30	1,75	250	0	0%
	+1,40	1,77	257	7	+2%
	+1,50	1,79	264	15	+3%
	+1,60	1,82	275	26	+5%
	+1,70	1,86	293	43	+9%
	+1,80	1,91	324	75	+16%

Tabell 11 Sammanställning av resultat efter simulering med excelmodellen vid en havsnivåpeak med 200 års återkomsttid år 2100. Skadekostnaden för den maximala nivån bakom Storbarriären är beräknad, liksom ökningen i skadekostnad, i förhållande till en stängningsnivå på +1,3 m. Samtliga simuleringar i excelmodellen genomfördes med förutsättningarna att flödet i vattendragen var 2 års högflöde år 2100. Havsvattennivåpeaken varade 26 timmar och nådde en maximal nivå på +2,55 m.

5.6 Stängningsnivåns inverkan på nödvändig pumpkapacitet

Ett annat sätt att se på stängningsnivåns inverkan är att med excelmodellen beräkna vilken pumpkapacitet som behövs för att upprätthålla ett visst kriterie för olika stängningsnivåer. I följande exempel har simulering utförts med excelmodellen för att beräkna vilken pumpkapacitet som är nödvändig för att bibehålla dagens högsta högvattennivå (HHW) på +1,85 m bakom Storbarriären. Följande förutsättningar har använts:

- 200 års havsnivåpeak år 2100, +2,55 m
- 26 timmars varaktighet på havsnivåpeaken
- Högflöde i vattendragen (Möndalsån, Säveån, Kvillebäcken och Lärjeån)
- 100 % avledning av flödet i Göta Älv via Nordre Älv
- Regnbelastning på 16 m³/s

Det krävs en pumpkapacitet på omkring 80 m³/s vid en stängningsnivå på +1,3 m för att bibehålla dagens högsta högvattennivå, se tabell 12. Om stängningsnivån höjs till +1,8 m måste pumpkapaciteten utvidgas till 115 m³/s. Detta är en ökning med 35 m³/s.

Stängningsnivå [m]	Max nivå utan pumpning [m]	Pumpkapacitet för att hålla dagens HHW +1,85 m [m ³ /s]	Ökning i pumpkapacitet [m ³ /s]
+1,30	+2,15	80	0
+1,40	+2,16	80	0
+1,50	+2,17	85	5
+1,60	+2,18	95	15
+1,70	+2,19	105	25
+1,80	+2,22	115	35

Tabell 12 Sammanställning av resultat efter simulering med excelmodellen för att beräkna stängningsnivåns inverkan på den nödvändiga pumpkapaciteten för att bibehålla dagens högsta högvatten bakom Storbarriären.

5.7 Magasineringsbehov

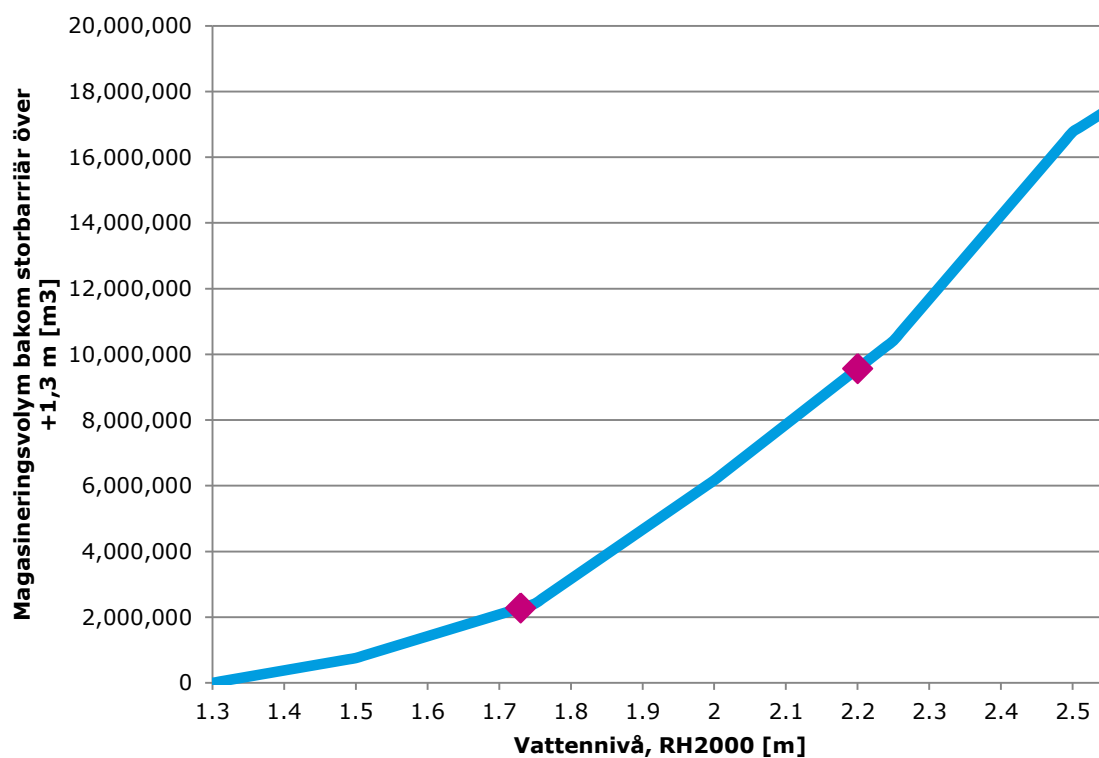
Det är stor skillnad i magasineringsbehov vid medelflöde och högflöde i vattendragen, se tabell 13. Volymen vatten som rinner ut i Göta Älv är beräknad under 24 timmar eftersom det tar ca 24 timmar för vattnet att fylla magasinvolymen bakom Storbarriären till en punkt där vattennivån är lika både utanför och innanför Storbarriären vid medelflöde i vattendragen. Vid högflöde i vattendragen går detta förlopp fortare och formen på havsnivå peaken gör nivån där vattennivån både innanför och utanför Storbarriären möts är betydligt högre. Därför bör jämförelsen istället utföras i medelflödessituationen där det tar 24 timmar att fylla magasineringsvolymen och då har vattennivån utanför Storbarriären sjunkit till en lägre nivå.

Vid medelflöde rinner ca 2,4 miljoner m³ vatten ut i Göta Älv från vattendragen Möndalsån, Säveån, Lärjeån och Kvillebäcken. Vid högflöde i vattendragen rinner ca 10 miljoner m³ vatten ut i Göta Älv. Dessa volymer kan grovt sett användas för att utläsa vilken maxnivå som uppnås vid de två flödessituationer, se figur 16. Om vatten kan pumpas ut eller fördröjas högre upp i sjöar i vattendrags avrinningsområden, kan denna figur användas till att ge en fingervisning om vilken maximal nivå som uppnås bakom Storbarriären. Det skall dock poängteras att excelmodellen, som figur 16 är baserad på, har en felmarginal på 5-15 cm i jämförelse med hydromodellen, se figur 7.

Vattendrag	Medelflöde [m ³ /s]	Volym under 24 timmar [m ³]	Högflöde [m ³ /s]	Volym under 24 timmar [m ³]	Skillnad i volym under 24 timmar [m ³]	Andel av skillnad
Mölnålsån	4.2	362 880	26	2 246 400	1 883 520	25 %
Säveån	20.9	1 805 760	70	6 048 000	4 242 240	56 %
Lärjeån	2.1	181 440	17.4	1 503 360	1 321 920	17 %
Kvillebäcken	0.14	12 096	2	172 800	160 704	2 %
Summa	27,3	2 362 176	115,4	9 970 560	7 608 384	100 %

Vattendrag	100 % avledning	Volym under 24 timmar [m ³]	50 % avledning	Volym under 24 timmar [m ³]
Göta Älv	0	0	142,5	12 312 000

Tabell 13 Sammanställning av behovet av magasineringsvolym vid en högflödessituation, jämfört med en medelflödessituation. För Göta Älv beräknas istället behovet av magasineringsvolym om 50 % avledning av Göta Älvs flöde via Nordre Älv används, istället för 100 %.



Figur 16 Magasineringsvolym över nivå +1,3 m i excelmodellen, vilket är den nivå Storbarriären stänger vid i simuleringsuppdrag 4a. Genererad volym vid medelflöde och högflöde är markerad på kurvan. Detta exempel visar att den genererade volymen under 24 timmar kan ge en grov fingervisning på vilken maximal vattennivå som kommer uppnås bakom Storbarriären, även om felmarginalen kan vara 10-15 cm.

6. DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Om storbarriären anläggs skapas ett stor överskott av vatten som flödar in i Göteborgsgrenen av Göta Älv. För att Storbarriären ska minska översvämningsrisken i centrala Göteborg måste detta vattenöverskott hanteras. Valet står mellan att avleda vattnet vid Kungälv eller pumpa vattnet över barriären vid Älvsborgsbron. Men eftersom Göta Älvs bottennivå i höjd med Kungälv är ca minus 8 m så kommer högvatten i Kattegatt att dämma Nordre Älv och på så sätt pressa stora vattenmängder genom Göteborgsgrenen av Göta Älv. En barriär vid Jordfallsbron kan stoppa vattnet från Nordre Älv att pressas in i Göteborgsgrenen av Göta Älv. Om endast en barriär och pumpstation etablerades vid Älvsborgsbron skulle vattnet bara flöda runt och komma in bakom barriären via Nordre Älv, se figur 17.



Figur 17 Översikt av Storbarriären med endast en barriär vid Älvsborgsbron och pumpar som lyfter vattnet över barriären. Om endast en barriär etableras vid Älvsborgsbron tillsammans med en pumpstation kommer vattnet som pumpas över bara att flöda runt barriären via Nordre Älv.

Resultaten visar att avledningen av Göta Älvs flöde via Nordre Älv har väldigt stor inverkan på översvämningsrisken vid etablering av Storbarriären. Vid 50 % avledning av Göta Älvs flöde och högflödessituationer blir Storbarriärens beskyddande effekt helt uttraderad, eftersom vattennivån på båda sidor om barriären i stort sett blir lika. Om avledningen istället kan genomföras till 100 % har Storbarriären en betydligt större möjlighet att hålla vattennivån låg i Göta Älv. Vid 100 % avledning av Göta Älvs flöde och högflödessituationer kan skyddsbarriären hålla vattennivån ca 30 cm lägre.

Om flödet istället motsvarar medelflödet i vattendragen kan vattennivån bakom Storbarriären hållas ännu lägre eftersom en mindre mängd vatten fyller den tillgängliga magasineringsvolymen i Göta Älv. Detta visar att flödet i vattendragen har stor betydelse för hur pass effektivt en Storbarriär kan skydda Göteborg vid högvatten i Kattegatt. Idag finns, enligt uppgift från Stadsbyggnadskontoret, möjlighet att i förväg tappa av magasinerade volymer i Mölndalsåns

sjösystem vid Stensjö dämme (förtappning). Om högvatten kan prognostiseras några dagar i förväg, kan vattenvolymen i reservoarerna uppströms Stensjö dämme minskas, så att nederbörd som tillrinner kan magasineras och därmed minska flödet i Mölndalsån under den tid som det är högvatten i havet.

Det totala flödet i vattendragen som har utlopp i Göta Älv är ungefär 115 m³/s (Mölndalsån, Säveån, Lärjeån och Kvillebäcken) vid en högflödessituation år 2100, se Tabell 2. Om 100 % av Göta Älvs flöde kan avledas via Nordre Älv är detta i grova drag det flöde som skulle fylla den tillgängliga magasineringensvolymen bakom Storbarriären. Högflöde i Säveån kommer att vara ca 70 m³/s år 2100 vilket motsvarar ca 60 % av det totala inflödet bakom Storbarriären. För att Storbarriären ska kunna skydda Göteborg mot översvämning i så stor utsträckning som möjligt är det väsentligt att minska flödet från Säveån ut i Göta Älv under högvattensituationer. Möjligheten att i förväg tappa av magasinerade volymer ur Säveåns sjösystem och magasinera vatten i sjöarna Aspen, Sävelången, Ömmern, Mjörn och Anten skulle därmed kunna minska översvämningsrisken i Göteborg betydligt. Det finns även sjöar i Lärjeåns avrinningsområde som skulle kunna användas för magasinering vid en högvattensituation i havet. Det bör undersökas närmare i hur stor utsträckning det är möjligt att genomföra ytterligare reglering, dels beroende på att det är olika aktörer som styr avtappningen idag och dels med tanke på hur långt i förväg prognosen kan förutspå högvatten i förhållande till responstiden i vattensystemet.

Etableringen av en Storbarriär kommer att ta många år och eftersom medelvattennivån i havet gradvis kommer att stiga till år 2100 kan det bli nödvändigt att etablera skyddsvallar längs delområdena intill Göta Älv för att skydda de mest översvämningsdrabbade områdena. De områden där översvämningsrisken är störst bakom Storbarriären är Packhustorget, Skeppsbrokajen, Hultmans holme, Gamlestadstorget, Brämaregården/Lundbyvass/Götaverken/Lundbystrand, Skateberg och Stigbergskajen.

Simulering i excelmodellen visar att med 100 % avledning av flödet i Göta Älv via Nordre Älv och utan reglering av flödet i Mölndalsån och Säveån, är behov av pumpkapacitet förbi barriären vid Älvsborgsbron i storleksordningen 75-100 m³/s om översvämningsrisken år 2100 skall vara densamma som idag år 2014. För att minska översvämningsrisken ytterligare måste pumpkapaciteten vara större.

7. REKOMMENDATIONER

Endast en avledning av vattnet in i Göteborgsgrenen av Göta Älv kan hindra stora vattenmängder från att komma in bakom barriären vid Älvsborgsbron vid högvatten i havet. Därför rekommenderas att en barriär etableras vid Jordfallsbron så att vattnet kan avledas via Nordre Älv. Oavsett om allt vatten i Göta Älv kan avledas via Nordre Älv finns ett stort behov av en pumpstation vid Älvsborgsbron för att minska översvämningssrisken i centrala Göteborg. Om allt vatten inte kan avledas via Nordre Älv kan pumpstationen vid Älvsborgsbron användas för att pumpa även den mängd vatten som inte kan avledas ut till Kattegatt.

För att förbättra den översvämningssäkerhetsfunktionen av en Storbarriär är det nödvändigt att minska flödet i vattendragen som har utlopp till Göta Älv i Göteborgs närhet under den tid som Storbarriären hålls stängd. Det är också viktigt att avleda så mycket vatten som möjligt till Kattegatt via Nordre Älv. Om dessa två åtgärder inte kan genomföras måste stora pumpstationer etableras för att pumpa vattnet över Storbarriären. Även om det är möjligt att etablera pumpstationer i tillräcklig storlek rekommenderas att möjlighet för att kunna förtappa fler vattendrag skapas och att det därmed blir möjligt att sänka nivån i vattenmagasinen i avrinningsområdena innan högvatten. Detta gäller primärt Sävåns, eftersom den procentuellt har störst andel av tillflödet till Göta Älv, men också Mölndalsån och Lärjeån. Detta ger både en mer långsiktig och hållbar lösning för framtiden än att inte reglera flödet i Sävåns och Lärjeån som idag. Det finns redan möjlighet att reglera flödet i Mölndalsån, men styrningen bör styras tillsammans med Storbarriären.

För att få en bättre uppfattning om potentialen i den tillgängliga magasineringsvolymen i Sävåns och Lärjeån avrinningsområden bör en förenklad bassängmodell ställas upp. I bassängmodellen läggs potentiellt tillgänglig magasineringsvolym för varje sjö in, tillsammans med en grov beskrivning av vattendragsprofilen. Modellen kan användas till att beräkna hur långt i förväg förtappningen ska börja för att ha störst effekt med tanke på att rinntiderna kan vara väldigt långa i vattensystemet. Uppdämningsnivåer för olika tappningsscenarier kan tas fram för att sedan kunna användas i diskussionerna med de aktörer som idag styr tappställena.

BILAGA 1

REDOVISNING AV KRITISKA OBJEKT