

Avsedd för
Stadsbyggnadskontoret i Göteborg

Dokumenttyp
Rapport

Datum
2015-02-04

Revision
1

HYDROMODELL FÖR GÖTEBORG

MODELLDOKUMENTATION FÖR OMRÅDE B – MÖLNDALSÅN OCH SÄVEÅN



HYDROMODELL FÖR GÖTEBORG

MODELLDOKUMENTATION FÖR OMRÅDE B – MÖLNDALSÅN OCH SÄVEÅN

Revidering **1**
Datum **2015-02-04**
Utfört av **Henrik Thorén**
Kontrollerad av **Henrik Sønderup, Tora Lindberg**
Godkänd av **Tora Lindberg**
Beskrivning **Modelldokumentation av Område B i projektet Hydromodell för Göteborg**

Ref. 1320001782-002
Document ID
Version

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	Sammanfattning	1
2.	Ordlista	2
3.	Bakgrund	5
4.	Klimat	6
4.1	Temperatur	6
4.2	Nederbörd	6
4.3	Klimatförändringar	6
5.	Modellområde	7
6.	Modelluppbyggnad	12
6.1	Generellt	12
6.2	Principiell modellöversikt	13
6.3	MIKE Urban	15
6.3.1	Avrinningsområde	16
6.3.2	Pumpar	16
6.3.3	Bräddavlopp	17
6.3.4	Randvillkor	18
6.4	MIKE 11	20
6.4.1	Mölndalsån	20
6.4.2	Säveån	22
6.4.3	Sammansatt modell för Mölndalsån och Säveån	25
6.5	MIKE 21 – Översvämningsmodell	26
6.6	Tre-vägskoppling	29
6.7	Uppdateringar i modellen	33
6.7.1	Skyddsbarriärer för infrastruktur	33
6.7.2	Kajkant längs Mölndalsån	36
6.7.3	Övriga kommentarer	37
6.8	Portar och skyddsvallar	38
7.	Kalibrering	40
8.	Genomförda simuleringar	43
9.	Modellosäkerheter	46
10.	Rekommendationer	48
11.	Referenslista	49

BILAGOR

Bilaga 1

Kartbilagor

Bilaga 2

Inventering av broar över Sävån

1. SAMMANFATTNING

I Västra Götaland påverkas temperaturen i stor utsträckning av temperaturen i Atlanten, eftersom området ligger nära kusten och de västliga vindarna från havet styr temperaturen. Längs kusten i Västra Götaland är den årliga nederbörden ca 800 mm och längre in i landet kan det stiga upp till ca 1000 mm. Utsläpp av växthusgaser orsakar en stigande medeltemperatur på jorden. Denna temperaturökning gör att glaciärer smälter snabbare än de hinner byggas på under vintern. Avsmältningen gör att medelvattennivån stiger i havet. Klimatförändringarna kommer orsaka en minskad av nederbörd under sommarhalvåret och en ökad nederbörd under vintern. Dock kommer intensiteten i skyfallen under sommaren att öka.

Längs Mölndalsån och inom Marieholms industriområde, vid Säveån utlopp är översvämningsrisken stor när vattennivån är hög i Göta Älv. Stadsbyggnadskontoret har startat projektet Hydromodell för Göteborg, där en hydromodell har byggts upp för de lågt liggande områdena längs Mölndalsån och Säveån. Detta är ett verktyg som kan användas för att kartlägga översvämningsrisken i området för det nuvarande och framtida klimatet.

I projektet Hydromodell för Göteborg definierades tre områden som kallades A, B och C. I denna rapport beskrivs modellområdet som kallas Område B. Område B omfattar de lågt liggande områdena längs Mölndalsån, Säveån, Gullbergsån, Fattighusån, Norra Hamnkanalen, Rosenlunds-kanalen och Vallgraven.

Vattendragsmodeller fanns tillgängliga för Mölndalsån, Fattighusån, Norra Hamnkanalen, Rosenlunds-kanalen, Vallgraven och Gullbergsån. En vattendragsmodell för Säveån byggdes upp utifrån djupmätningar. Dessutom byggdes en helt ny avloppsmodell upp för de kombinerade och separerade avloppssystemen längs Mölndalsån och Gullbergsån. Den slutgiltiga hydromodellen bestod dels av dessa modeller, men även en översvämningsmodell som täckte hela modellområdet B. Dessa modeller kopplades sedan ihop genom en s.k. trevägskoppling.

I projektet Hydromodell för Göteborg var en del av syftet med modellen att kunna simulera olika lösningsförslag för att minska risken för översvämnning. Ett av lösningsförslagen var att etablera skyddsvallar längs Göta Älv och anlägga portar i vattendragen som har utlopp till Göta Älv.

2. ORDLISTA

I samband med hydrologiska och hydrauliska modeller samt beskrivning av avloppssystem används flera ord och begrepp unika för branschen. I samband med tidigare projekt har begrepp introducerats som även används i denna rapport. Nedan följer en lista med ofta förekommande ord och begrepp använda i rapporten. I högra kolumnen finns en kort definition/förklaring av ordet eller begreppet.

Andel hårdgjorda ytor	Andel hårdgjorda ytor är förhållandet mellan arean av hårdgjorda ytor och den totala arean för avrinningsområdet. Andel hårdgjorda ytor anges normal i procent eller som decimaltal. Se även "hårdgjorda ytor"
Avrinningsområde	Ett avrinningsområde är ett landområde som avvattnas till en och samma punkt. Området avgränsas av dess topografi som skapar vattendelare. All nederbörd som faller i avrinningsområdet kommer passera samma punkt på väg mot havet.
Bräddavlopp	Bräddavlopp är en nödfunktion som normalt finns i kombinerade avloppssystem. Bräddavloppet avlastar avloppssystemet vid skyfall när ledningsnätet överbelastat, genom att transportera orenat avloppsvatten direkt till recipienten. Denna funktion finns för att minska risken för källaröversvämningar i de hus som är anslutna till det kombinerade avloppssystemet.
Hydromodell	Hydromodell är ett begrepp som används i projektet Hydromodell för Göteborg. Det är en kopplad modell bestående av en ledningsnätmodell, vattendragsmodell och översvämningsmodell. En hydromodell kan bestå av två eller tre av dessa modeller. Se även "kopplad modell".
Hårdgjorda ytor	En hårdgjord yta är ytor där infiltration inte sker i någon större utsträckning, såsom vägar, parkeringsplatser, järnväg, hustak osv. Ytorna är täckta av exempelvis asfalt, sten, tegel eller betong. Avrinning från denna typ av yta sker snabbare än avrinning från en naturlig grönyta. Eftersom avrinning från hårdgjorda ytor är direkt är det dessa som är intressanta vid dimensionering och modellering av urbana avloppssystem.
Kalibrering	Kalibrering utförs normalt genom att ett av randvillkoren varieras och modellen körs för att se resultat på hur den påverkas av förändringarna i randvillkoret. Resultatet jämförs sedan med en uppmätt parameter som simuleras i modellen. För MIKE Urbanmodeller brukar regn i avrinningsområdet och flöde i avloppssystemet mätas. Modellen körs därefter med det uppmätta regnet och simulerar ett flöde i avloppssystemet. Det simulerade flödet jämförs med det uppmätta flödet i avloppssystemet. Olika parametrar och egenskaper för avrinningsområden och avloppssystem kan ändras för att kalibrera modellen mot ett randvillkor.

Kopplad modell	MIKE Urban, MIKE 11 och MIKE 21 kan kopplas ihop och detta kallas MIKE Flood. Två eller tre modeller kan kopplas ihop till en MIKE Flood modell. Vid koppling definieras utväxlingspunkter, som beskriver hur vattnet transporteras mellan modellerna.
Ledningsnätsmodell	Som ledningsnätsmodell används en MIKE Urban modell, se "MIKE Urban".
Markanvändning	Markanvändning är en kartläggning av hur olika ytor är planerade att användas. Markanvändningen har ofta flera standardiserade underkategorier som beskriver vad en yta ska användas till. Exempel på markanvändningsområden kan vara bostäder, industri och handel.
MIKE Urban	MIKE Urban är ett datorprogram utvecklat av DHI (Danska Hydrologiska Institutet) som används för att simulera hydrologi och hydraulik av urbana avloppssystem. MIKE Urban består av två modeller, den första är en hydrologisk modell som beskriver avrinning från avrinningsområden baserat på olika parametrar. Den andra är en hydraulisk modell som beskriver vattenflödet i avloppssystemet genom brunnar, ledningar, bräddavlopp och pumpstationer. Modellerna är s.k. endimensionella modeller.
MIKE 11	MIKE 11 är ett datorprogram utvecklat av DHI (Danska Hydrologiska Institutet) som används för att simulera vattendrags hydrologi och hydraulik. MIKE 11 består av två modeller, den första är en hydrologisk modell som beskriver avrinning från avrinningsområden baserat på olika parametrar. Den andra är en hydraulisk modell som beskriver vattenflödet i vattendragen. Modellerna är s.k. endimensionella modeller.
MIKE 21	MIKE 21 är ett datorprogram utvecklat av DHI (Danska Hydrologiska Institutet) som används för att simulera vattenflöde på markytan. MIKE 21 modellen kan kopplas ihop med en MIKE Urban modell för att simulera översvämningar på markytan när avloppssystemet blir överbelastat vid skyfall. Olika parametrar anges i modellen för att beskriva bland annat friktion på markytan och vattnets viskositet. MIKE 21 modellen utvecklades av DHI för att simulera flöden i sjöar och hav, men den har senare vidareutvecklats för att kunna användas tillsammans med MIKE Urban och MIKE 11. Modellen är en s.k. tvådimensionella modell.
Randvillkor	Randvillkor är ett sätt att matematiskt beskriva hur området utanför modellområdet påverkar modellen. Ett randvillkor kan vara t.ex. nederbörd, flöden i vattendrag och vattennivå i havet. Olika modeller påverkas olika beroende på vilken typ av randvillkor som används.
Samhällskritiska objekt	Samhällskritiska objekt är objekt som har särskild betydelse för att samhällets funktion bibehålls. Detta kan t.ex. vara tunnlar för väg och järnväg, transformatorstationer, järnvägsstationer och sjukhus. Göteborgs stads definition av samhällsviktiga objekt " <i>Med samhällsviktig anläggning avses ett skyddsobjekt som har en vital funktion för stadens funktion, har lång livslängd, innebär in-</i>

	<i>vesteringskostnad, är svår eller omöjlig att flytta med kort varsel. Exempel på sådana anläggningar är anläggningar kopplade till teknisk försörjning, broar, tunnlar mm.”</i> De samhällsviktiga objekt som studerats inom ramen för hydromodellen avser sådana som förvaltas av staden genom förvaltningar och bolag. Anläggningar som förvaltas av privata aktörer omfattas ej av de analyser som genomförts inom projekt hydromodellen.
Vattendragsmodell	Som vattendragsmodell används en MIKE 11 modell, se även ”MIKE 11”.
Översvämningsmodell	Som översvämningsmodell används en MIKE 21 modell, se även ”MIKE 21”.

3. BAKGRUND

Längs Mölndalsån och inom Marieholms industriområde vid Säveån utlopp är översvämningsrisken stor när vattennivån är hög i Göta Älv. Dessa områden ligger lågt i förhållande till närliggande områden. Fram till år 2100 har SMHI beräknat att medelhavsnivån kommer att stiga med omkring 70 cm (SMHI, 2011). Vattnet i Mölndalsån och Säveån kommer i framtiden därför få svårare att ledas ut i Göta Älv, vilket leder till en större översvämningsrisk.

Syftet med en hydromodell för de lågt liggande områdena längs Mölndalsån och Säveån är att skapa ett verktyg som kan kartlägga översvämningsrisken i området för det nuvarande och framtida klimatet. Modellen kan användas för att kartlägga översvämningsrisken för de nya stadsmiljöer som planeras i området. Modellen kan dessutom användas för att simulera effekten av olika åtgärdsförslag.

Denna typ av hydromodell ger möjlighet att genomföra en kartläggning av översvämningsrisken kopplad till kapaciteten i avloppssystemet. Förändringar av avloppssystemet kan både minska och i värsta fall öka översvämningsrisken för olika områden, beroende på hur avloppssystemet byggs ut. Modellen kan därmed användas som ett verktyg för att simulera både positiva och negativa konsekvenser av en eventuell ut- eller ombyggnad av avloppssystemet samt att jämföra olika lösningar med varandra.

4. KLIMAT

4.1 Temperatur

I Västra Götaland påverkas temperaturen i stor utsträckning av temperaturen i Atlanten, eftersom området ligger nära kusten och de västliga vindarna från havet styr temperaturen (SMHI, 2011). Klimatet ger därför relativt svala somrar och milda vintrar eftersom värmen från solen lagras i havet och jämnar ut temperaturen som orsakas av årstidsvariationerna (SMHI, 2011).

Under december, januari och februari är den genomsnittliga månadstemperaturen under 0 grader Celsius och övriga månader är den genomsnittliga temperaturen över 0 grader (SMHI, 2011). Varmast är det under juni, juli och augusti.

4.2 Nederbörd

Längs kusten i Västra Götaland är den årliga nederbörden ca 800 mm och längre in i landet kan det stiga upp till ca 1000 mm (SMHI, 2011). Skillnaden i nederbörd kan därför vara stor i olika delar av Västra Götaland. Det regnar mest i områdena omkring Borås och Landvetter (SMHI, 2011).

4.3 Klimatförändringar

Utsläpp av växthusgaser orsakar en stigande medeltemperatur på jorden. Denna temperaturökning gör att glaciärer smälter snabbare än de hinner byggas på under vintern. Avsmältningen gör att medelvattennivån stiger i havet. Därutöver orsakar en stigande medeltemperatur även att vattnet i havet expanderar termiskt vilket också bidrar till en stigande medelvattennivå (SMHI, 2011).

Samtidigt som medelvattennivån i havet stiger motverkas denna av den landhöjningen som sker i och med att trycket från inlandsisen försvann (SMHI, 2011). Landhöjningen sker långsammare än höjningen av den framtida medelvattennivån i havet och nettohöjningen blir därför högre än dagens medelvattennivå (SMHI, 2011). Vid Torshamnen i Göteborg har SMHI utifrån klimatmodeller simulerat att den framtida medelvattennivån kommer att stiga med omkring 70 cm till år 2100 (SMHI, 2011). Projekt hydromodellen har som utgångspunkt tillämpat klimatparametrar utifrån SMHI:s regionala klimatanalys från 2011. Under projektets gång har en uppdaterad klimatanalys gällande havsvattenstånd tagits fram av SMHI (2014). Skillnaderna gällande förväntad havsnivåutveckling till år 2100 är dock liten jämfört med analysen från 2011 och den uppdaterade analysen har därför ingen påverkan på de resultat som tagits fram inom projekt hydromodellen.

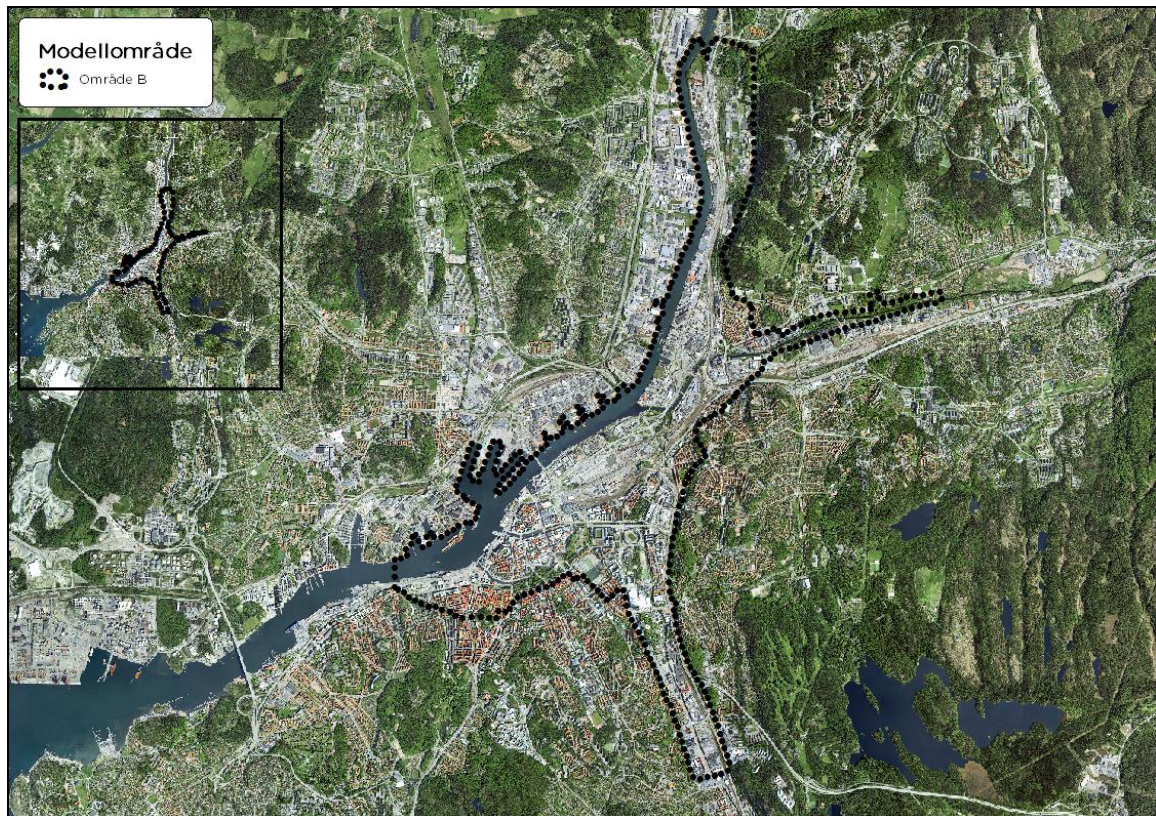
Klimatförändringarna kommer orsaka en minskad av nederbörd under sommarhalvåret och en ökad nederbörd under vintern (SMHI, 2011). Dock kommer intensiteten i skyfallen under sommaren att öka. Studier gjorda i Danmark av IDA Spildevandskomitéen visar att intensiteten i ett 2 års regn kommer öka med 20 %, ett 10 års regn med 30 % och ett 100 års regn med 40 % inom en 100 års horisont (IDA Spildevandskomitéen, 2014). Ett 2 års regn har en intensitet som statistiskt sett förekommer vartannat år.

5. MODELLOMRÅDE

I projektet Hydromodell för Göteborg definierades tre områden som benämns A, B och C. I denna rapport beskrivs modellområdet som benämns Område B, se figur 1. Område B omfattar de lågt liggande områdena längs Mölndalsån, Sävån, Gullbergsån, Fattighusån, Norra Hamnkanalen, Rosenlundskanalen och Vallgraven. Dessutom ingår Område C som en delmängd i Område B. Område C omfattar Gullbergsvassområdet hela vägen ut till Göta Älv.

Norr om platsen där Mölndalsåns korsar kommungränsen till Göteborgs Stad ligger många industrier och norr om dessa industriområden ligger Liseberg som genomkorsas av Mölndalsån. Norr om Liseberg och väster om Mölndalsån finns Svenska Mässan, Valhallabadet, Munkebäcksgymnasiet, Katrinelundsgymnasiet och Ullevi. Öster om Mölndalsån ligger ett bostads- och kontorsområde. Mölndalsån mynnar i Fattighusån som rinner via Norra Hamnkanalen till Göta Älv. Vid slutet av Fattighusån kan vattnet även rinna till Göta Älv via Rosenlundskanalen och Vallgraven. Där Mölndalsån möter Fattighusån finns också möjlighet för vattnet att via Gårda dämme brädda till Gullbergsån via en lång bräddkant med fisktrappa. Dessutom finns det möjlighet att via Gårda dämme öppna flera stora portar för att släppa ut mer vatten från Mölndalsån till Gullbergsån. Gullbergsån går sedan i två kulvertar under E6/E20 och mynnar därefter ut i Sävån. Sävån mynnar i Göta Älv. Längs södra delen av Gullbergsån finns en kyrkogård, bostads-, kontors- och industriområde. Längs Sävåns nedre del ligger industriområden på båda sidorna om ån. Längre uppströms finns det mest industriområden söder om ån och bostads- eller grönområden norr om ån.

Viktig infrastruktur för både väg och järnväg finns i modellområdet, se figur 4. I Gullbergsvassområdet, som också är en del av Område B, finns viktig infrastruktur. E6/E20 korsar genom Gullbergsvassområdet och går under Göta Älv i Tingstadstunneln mot Hisingen. Från Gullbergsmotet går E45 mot Götatunneln, som går under Norra Hamnkanalen och Vallgraven och kommer upp på Masthugget. Olskroken och Gullbergsmotet är två väldigt viktiga knutpunkter för vägnätet och en översvämning av dessa vore en katastrof då allt vatten skulle rinna ner i Tingstadstunneln. Söder om E45 på Gullbergsvass finns ett stort järnvägsområde för både Göteborgs Centralstation och Godsterminalen, se figur 5. . Strax söder om centralstationen finns en knutpunkt för spårvagnarna i Göteborg, en översvämning av denna knutpunkt skulle orsaka stora störningar i spårvagnstrafiken i hela Göteborg. Även Götaälvbron finns i modellområdet



Figur 1 Modellområde för Område B. Modellen täcker de lågt liggande områdena längs Mölndalsån och Säveån. Dessutom ingår delar av Masthugget, Haga, Inom Vallgraven, Lorensberg, Nordstaden, Gullbergsvass och Marieholms industriområde i modellområdet.

I Område B finns mycket hårdgjorda ytor och lite grönytor. Markanvändningen utgörs till 60 % av hårdgjord yta, 21 % av byggnader och endast 19 % är naturyta, se tabell 1. I figur 2 kan den geografiska fördelningen av de olika typerna av markanvändning utläsas.

Markanvändningskategori	Area	Andel
Byggnader	232,9 ha	21 %
Hårdgjord yta, exkl. byggnader	666,2 ha	60 %
Naturyta	205,9 ha	19 %
Totalt	1 105,0 ha	100 %

Tabell 1 Area och andel av olika markanvändningskategorier i Område B.

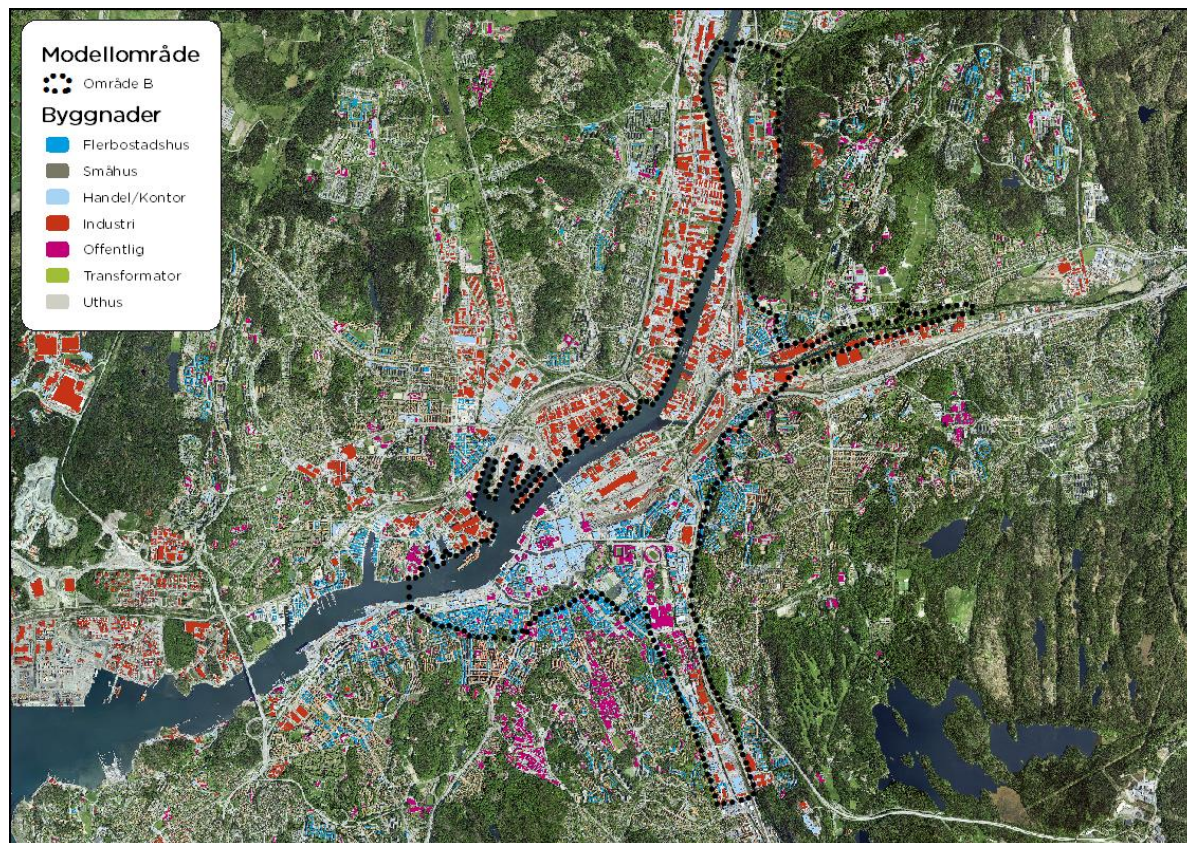
Den största delen av naturytorna finns vid Alelyckan i den nordligaste delen av modellområdet. Längs Säveån söder om Utby finns även en del naturyta. Mindre naturtor finns också söder om Ullevi, på Liseberg, i Trädgårdsföreningen och Kungsparken. Stora områden utgörs av vägar, parkeringsplatser och industriområden med stora asfalterade ytor.

I modellområdet finns alla byggnadstyperna representerade. I centrala Göteborg finns mycket handel och kontorsbyggnader samt en del flerbostadshus, se figur 3. Längre ut från centrum finns industriområdena på Gullbergsvass och Marieholms industriområde. Längs både Mölndalsån och Säveån finns sedan länge industrier som använt vattendragen som transport och avlopp. Utspritt finns även flera offentliga byggnader. Antalet småhus är dock begränsat i modellområdet. Dessa är primärt byggda högre upp i terrängen och ingår därför inte i modellområdet eftersom risken för översvämning är låg.

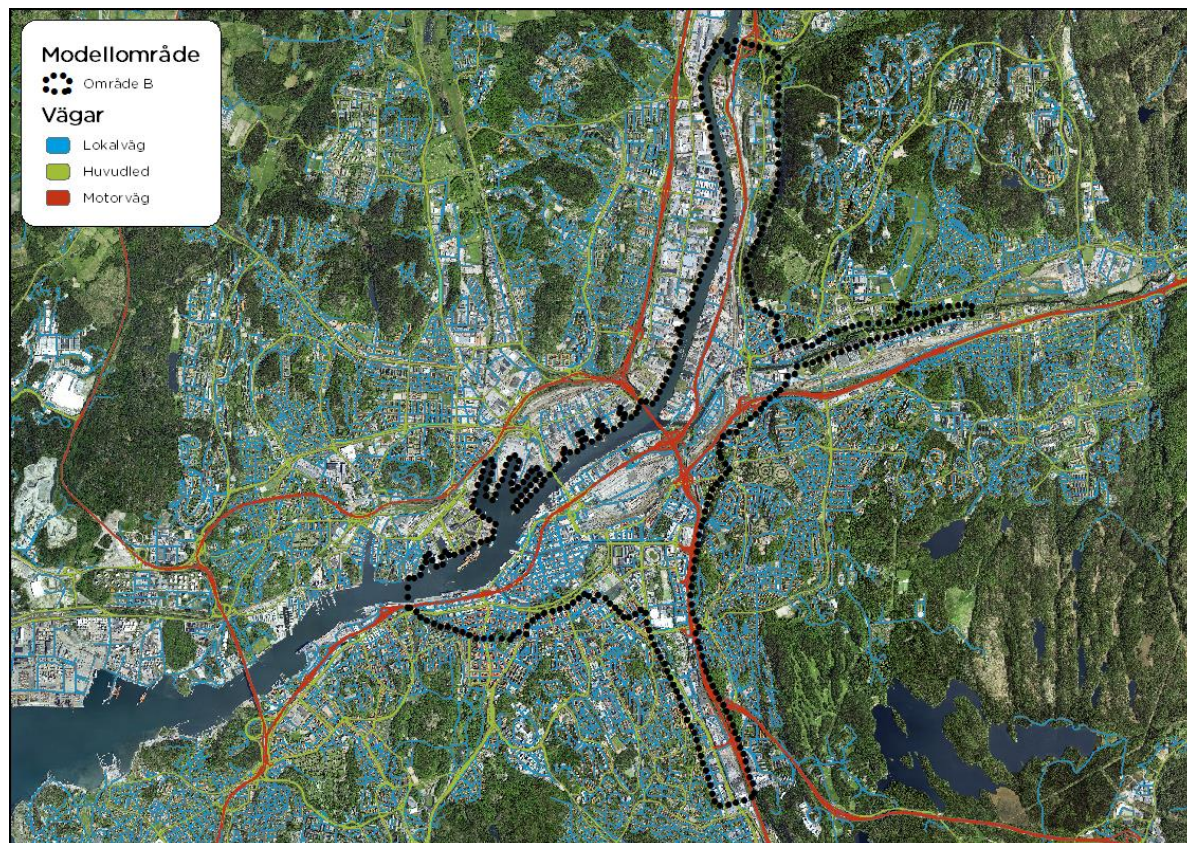
I modellområdet finns många samhällskritiska objekt, såsom transformatorstationer, tunnlar och offentliga byggnader. En översvämning av dessa kan orsaka stora störningar i samhället i form av strömavbrott, trafikstörningar och icke fungerande offentlig verksamhet.



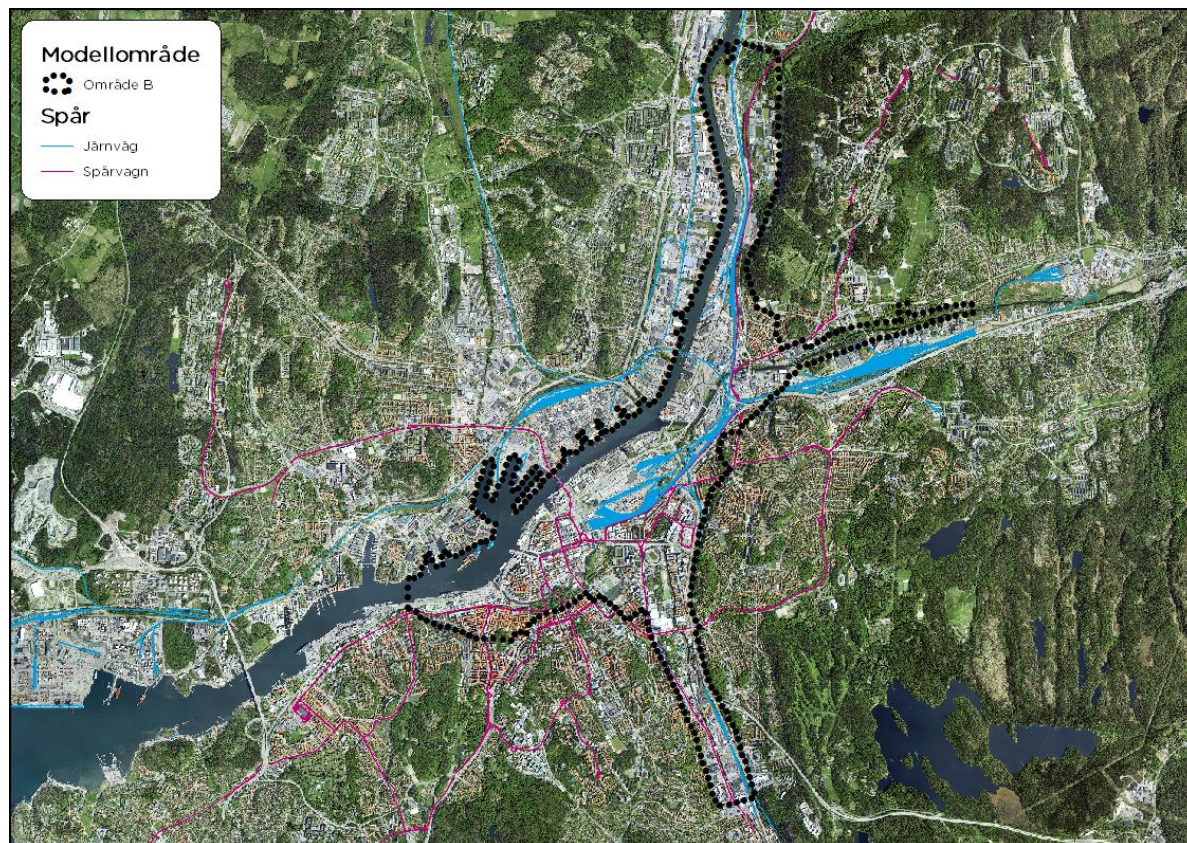
Figur 2 Översikt av markanvändning i Område B. Naturyta är markerad med grön färg, byggnader är markerade med mörkgrå färg och hårdgjord yta är markerad med ljusgrå färg.



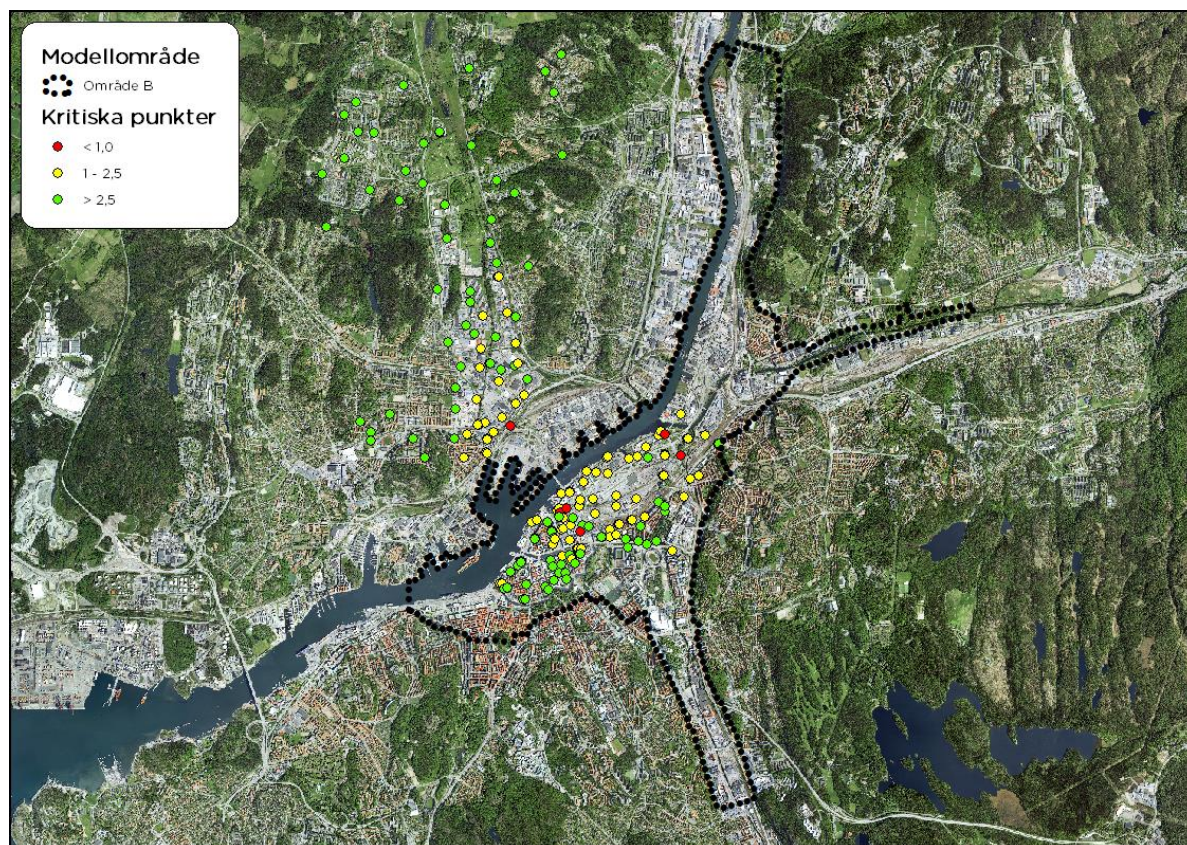
Figur 3 Byggnadstyper i modellområdet.



Figur 4 Vägar i modellområdet.



Figur 5 Järnvägar och spårvägar i modellområdet.



Figur 6 Samhällskritiska objekt i modellområdet, uppdelat på dess kritiska nivå.

6. MODELLUPPBYGGNAD

6.1 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. En MIKE Urban modell innehåller hydrologiska avrinningsområden. Dessa avrinningsområden byggs företrädesvis upp utifrån fastighetskartan, eftersom de flesta fastigheter har en och samma kopplingspunkt till de kommunala avloppsledningarna. Större fastigheter kan ha flera anslutningspunkter till de kommunala avloppsledningarna. Om information finns angående anslutningspunkterna kan därmed större fastigheter delas upp utifrån hur stor andel av fastigheten som är anslutet 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 vattendragen används en **MIKE 11** modell. I MIKE 11 modellen beskrivs vattendragets sträckning och med jämna mellanrum definieras vattendragets tvärsnittsyta. Till modellen kan uppströms- och nedströmsrandvillkor kopplas, såsom flöde eller vattennivå.

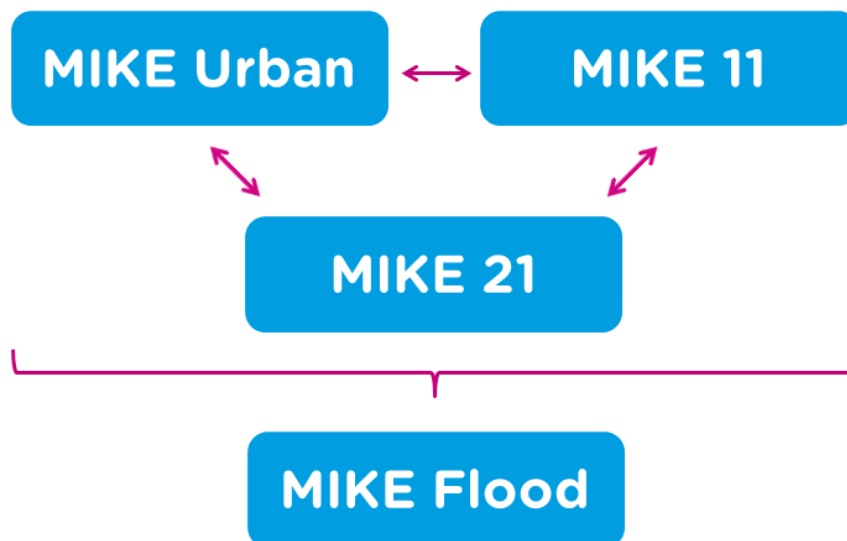
Urban översvämningsmodell (2D)

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.

Hydromodellen för modellområde B består av en MIKE Urban modell som beskriver avloppssystemet, en MIKE 11 modell som beskriver vattendragen och en MIKE 21 modell som är en översvämningsmodell som beskriver terrängen i modellområdet. Dessa tre modeller är sammankopplade vid varje nedstigningsbrunn i MIKE Urban modellen, utlopp i vattendragen och längs alla vattendrag. Denna typ av sammankoppling kallas för en MIKE Flood modell, se figur 7.



Figur 7 Illustration av en MIKE Urban, MIKE 11 och MIKE 21 modell som är sammankopplade för att skapa en MIKE Flood modell

MIKE Flood modellen användas vid simulering av översvämningsrisk för olika scenarier, men om endast simulering av avloppssystemet är aktuell kan MIKE Urban modellen köras självständigt. Detta är även möjligt att göra med MIKE 11 och MIKE 21 modellen.

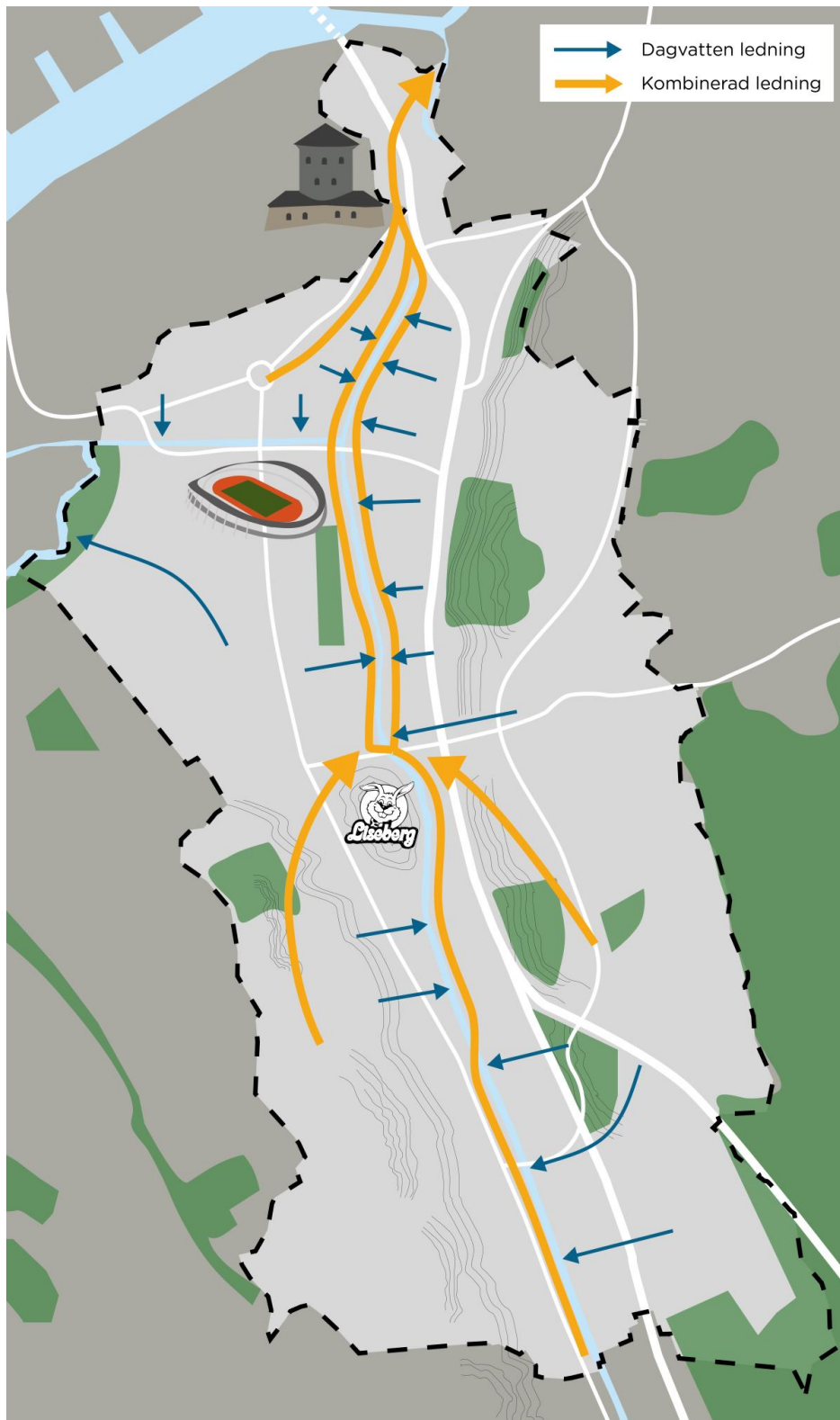
Andelen hårdgjorda ytor i MIKE Urban modellen är kalibrerade efter en regnhändelse den 27 juli 2013. Detta regn hade en återkomsttid på omkring 20 år. Eftersom syftet med scenarierna i Hydromodell för Göteborg var att beskriva regn med väldigt lång återkomsttid togs beslutet att endast kalibrera modellen mot denna regnhändelse. MIKE Urban modellens primära tillämpningsområde är därmed för regn med lång återkomsttid.

Om MIKE Urban modellen ska användas till att simulera scenarier med regn som har en kort återkomsttid bör modellen åtminstone kontrolleras mot denna typ av regn. Det utfördes under 2013 en mät kampanj i modellområdet mellan den 26 juni och 4 september och data från dessa mätningar kan användas för att kontrollera modellen mot regn med korta återkomsttider.

6.2 Principiell modellöversikt

Då ledningsdatabasen som använts för att bygga upp MIKE Urban modellen är belagd med sekretess har istället en principiell modellöversikt tagits fram för att i denna rapport illustrera hur modellområdet avvattnas i MIKE Urban modellen, se figur 8. Strax norr om den punkt där Mölndalsån korsar kommungränsen till Göteborgs Stad finns en kombinerad avloppsledning på den västra sidan om ån. Längre norrut går ledningen över till den östra sidan om ån. Norr om Liseberg delas ledningen upp i två ledningar, en på den västra och en på den östra sidan om Mölndalsån. Dessa ledningar löper parallellt med Mölndalsån och Gullbergsån för att senare kopplas samman till en ledning vid Gullbergsbrogatan. Lite längre norrut kopplas även en ledning in från området Stampen. I höjd med Skansen Lejonet kopplas en annan ledning in med vatten från större delarna av Gullbergsvassområdet. Ledningen går sedan ner mot pumpstationen vid Kodammarna där vattnet pumpas vidare till Ryaverket. Längs Mölndalsån, Fattighusån och Gullbergsån finns avrinningsområden där dagvattnet leds till vattendragen.

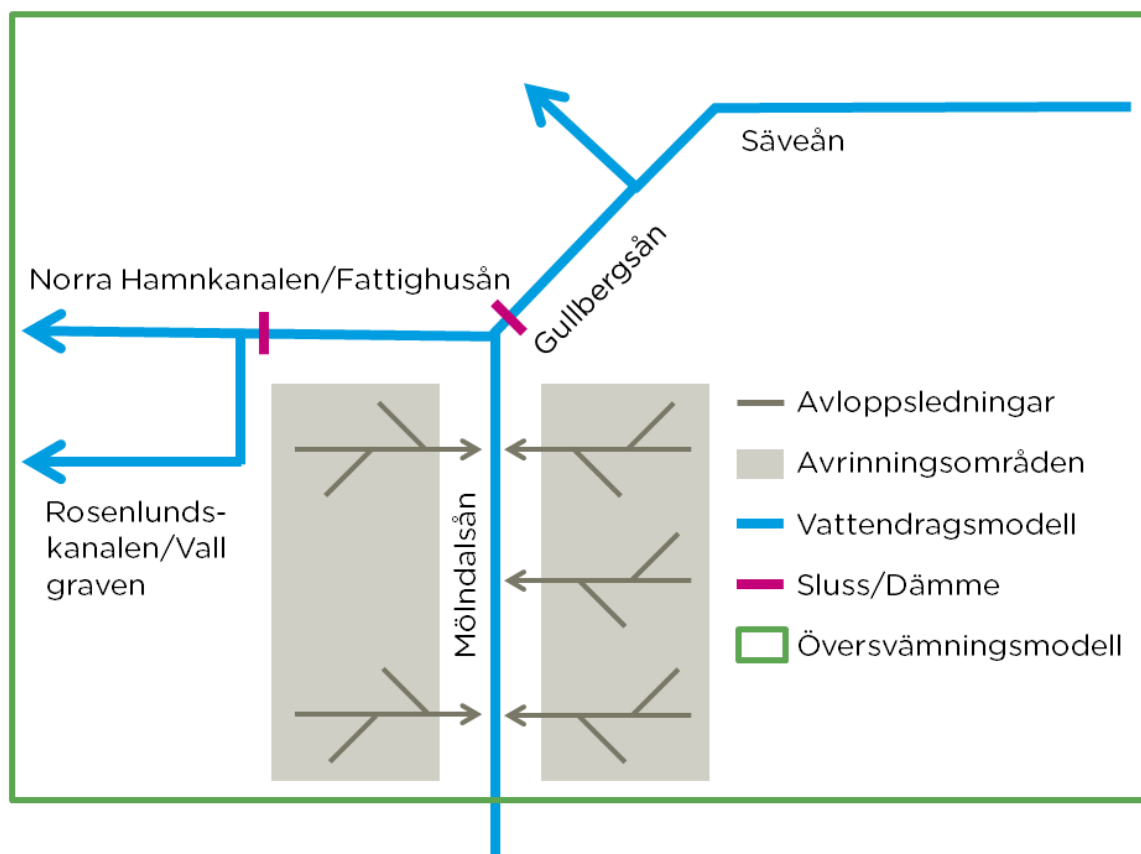
Längs Mölndalsån finns flera avrinningsområden där dagvatten leds till Göta Älv. Liknande finns även längs Fattighusån och Gullbergsån. Det finns även bräddmöjlighet för de kombinerade ledningarna till något av dessa vattendrag. Bräddning sker i de flesta fall via en dagvattenledning. Vid de lågt liggande bräddavloppen finns även backventil, för att vattnet inte ska kunna tyckas in i avloppssystemet om vattennivån i vattendraget är hög.



Figur 8 Principiell modellöversikt av MIKE Urban modellen i modellområde B.

Den kopplade modellen för modellområde B består av en ledningsnätsmodell i MIKE Urban, en vattendragsmodell i MIKE 11 och en översvämningsmodell i MIKE 21, se figur 9. MIKE Urban modellen beskrev avrinningsområden och avloppssystemet längs Mölndalsån, Gullbergsån och Fattighusån.

Utloppen i MIKE Urban modellen kopplas till MIKE 11 modellen. Därmed kan vattnet från avrinningsområdena i MIKE Urban modellen rinna via dagvattensystemet ut till vattendraget i MIKE 11 modellen. Vice versa kan vattnet i MIKE 11 modellen dämmas upp i dagvattensystemet i MIKE Urban modellen när vattennivån är hög i MIKE 11 modellen. Både MIKE Urban och MIKE 11 modellen är kopplade till översvämningsmodellen. Detta betyder att om vattennivån i en nedstigningsbrunn i MIKE Urban modellen stiger över marknivån flyttas vattnet upp på terrängen i översvämningsmodellen i MIKE 21. Detsamma sker i MIKE 11 modellen, men i denna modell kopplas istället vattendragets kant. Om vattennivån i något av vattendragen stiger över dess kant, kan vattnet transporteras till översvämningsmodellen, vilken simulerar översvämning längs vattendragen.



Figur 9 Principiell modelluppbyggnad för den kopplade modellen i modellområde B.

6.3 MIKE Urban

I projektet Hydromodell för Göteborg har en MIKE Urban modell byggts upp utifrån Kretslopp och Vattens ledningsdatabas över modellområdet. I ledningsdatabasen fanns bl.a. information angående nedstigningsbrunnar, utlopp och ledningar. En sammanställning av hur många objekt som MIKE Urban modellen innehåller visas i tabell 3. Avrinningsområdena var definierade utifrån fastighetskartan och andelen hårdgjorda ytor har beräknats utifrån digital geografisk information för hus, vägar och andra hårdgjorda ytor. Andelen hårdgjorda ytor definierades ursprungligen enligt tabell 2, vilket motsvarar rekommendation av Svenskt Vatten (Svenskt Vatten, 2004). Därefter kalibrerades andelen hårdgjorda ytor med hjälp av uppmätt regn och flöde i projektet Hydromodell för Göteborg.

Markanvändning	Andel hårdgjord yta [%]
Byggnader	90 %
Vägar	80 %
Övrigt	10 %

Tabell 2 Använd andel hårdgjord yta för olika typer av markanvändning.

Nedstigningsbrunnar	Antal
Spillvatten	540 st
Dagvatten	854 st
Kombinerade	1 108 st
Totalt	2502 st

Utlopp	Antal
Spillvatten	2 st
Dagvatten	47 st
Kombinerade	0 st
Totalt	49 st

Avloppsledningar	Antal	Längd
Spillvatten	551 st	17,0 km
Dagvatten	879 st	26,9 km
Kombinerade	1 142 st	38,5 km
Totalt	2 572 st	82,4 km

Tabell 3 Sammanställning av nedstigningsbrunnar, utlopp och avloppsledningar i MIKE Urban modellen. Observera att de två spillvattenutloppen är fiktiva utlopp.

6.3.1 Avrinningsområde

Modellområdets yta är ca 742 ha och består till största del av avrinningsområden med kombinerat avloppssystem, se tabell 4. Totalt är ca 205 ha hårdgjorda ytor vilket motsvarar 28 % av hela modellområdets yta. I tabell 4 finns avrinningsområdena även uppdelade på avloppssystem. För information angående varje avrinningsområdes yta och andel hårdgjord yta hänvisas till kartbilaga 1320001782-08-89, 1320001782-08-90, 1320001782-08-91 och 1320001782-08-96.

Modellområdet	Reducerad yta	Total yta	Andel hårdgjord yta	Andel av total yta
Spillvatten	0,2 ha	2,9 ha	6,4 %	1 %
Dagvatten	83,5 ha	299,3 ha	27,9 %	40 %
Kombinerat	121,3 ha	439,9 ha	27,6 %	59 %
Totalt	205,0 ha	742,1 ha	27,6 %	100 %

Tabell 4 Sammanställning av totala ytor, reducerade ytor och andel hårdgjorda ytor både för hela modellområdet och fördelat på avloppssystem.

6.3.2 Pumpar

Det finns endast en pumpstation i MIKE Urban modellen. Det är Kodammarnas pumpstation som pumpar avloppsvatten till Ryaverket, se tabell 5. Kapaciteten har kalibrerats fram med hjälp av uppmätt regn och flöde i avloppsledningarna uppströms pumpstationen. Kalibreringen visade att om pumpstationen hade en pumpkapacitet på 2 600 l/s stämde de uppmätta flödena med de simulerade i MIKE Urban modellen. I modellen för Område C användes istället en pumpkapacitet på 3 000 l/s, men ledningen som kommer från Gullbergsvassområdet transporterar ca 400 l/s. Därför har detta flöde dragits från pumpstationens kapacitet för att kompensera för att Gullbergsvassområdet inte är beskrivet i MIKE Urban modellen för Område B.

Plats	MUID	Nivå		Max kapacitet	Kommentar
		Start	Stop		
Kodammarna	Kodammarna_P1	-6,0	-8,4	2600 l/s	Kombinerad. Uppskattad kapacitet

Tabell 5 Översikt av pumpstationerna i MIKE Urban modellen.

6.3.3 Bräddavlopp

Det finns 16 bräddavlopp i modellområdet, se tabell 6. Det är i huvudsak kombinerade bräddavlopp som bräddar till en närliggande dagvattenledning. Det finns även ett bräddavlopp som kan brädda direkt ut till Gullbergsån från en av de två kombinerade ledningarna längs ån.

Flödesmätningarna indikerade att det möjligtvis finns ett bräddavlopp söder om modellområdet längs Mölndalsån, eftersom flödesmätningarna visade en avskuren flödestopp för de två parallella kombinerade avloppsledningarna längs Mölndalsån. Det skulle även kunna tyda på att det finns en hydraulisk begränsning i avloppssystemet i mätpunktens närhet. Kretslopp och Vatten har inget registrerat bräddavlopp från dessa ledningar som kan ha orsakat denna minskning i flödet och det bör undersökas närmare vart detta vatten tar vägen.

Plats	MUID	Bräddnivå		Bräddkant (m)	Kommentar
		(m)	(m)		
Övre Buråsliden	5453-Övre Buråsliden	12,40	1,0		Komb. till Dag.
Varbergsgatan	5456-Varbergsgatan	2,99	6,0		Komb. till Dag.
Falkenbergsgatan	5457-Falkenbergsgatan	3,74	3,0		Komb. till Dag.
Nordgårdsgatan	5458-Nordgårdsgatan	4,27	7,4		Komb. till Dag.
Milpålegatan	5459-Milpålegatan	2,61	3,0		Komb. till Dag.
Fredriksdalsgatan	5462-Fredriksdalsgatan	25,80	1,0		Komb. till Spill.
Eklandagatan-Utlandagatan	5540-Eklandagatan-Utlandagatan	35,80	1,0		Komb. till Dag.
Södra Vägen	5575-Södra Vägen	6,29	1,0		Komb. till Dag.
Korsvägen-Skånegatan	5576-Korsvägen-Skånegatan	3,70	4,0		Komb. till Dag.
Skånegatan-Vallhallagatan	5577-Skånegatan-Vallhallagatan	2,87	4,5		Komb. till Dag.
Berzeliegatan-Sten Sturegatan	5578-Berzeliegatan-Sten Sturegatan	2,91	2,5		Komb. till Dag.
Tritongatan-Fabriksgatan	5579-Tritongatan-Fabriksgatan	1,85	0,6		Komb. till Dag.
Södra Vägen	5585-Södra Vägen	6,40	1,0		Komb. till Dag.
Olof Wijksgatan-Södra Vägen	5595-Olof Wijksgatan-Södra Vägen	6,51	1,0		Komb. till Komb.
Orangerigatan-Delsjövägen	5596-Orangerigatan-Delsjövägen	8,18	2,5		Komb. till Dag.
Ågången	Ågången	0,55	2,0		Komb. till Gullbergsån

Tabell 6 Sammanställning av samtliga bräddavlopp från avloppssystemet i modellområde B.

6.3.4 Randvillkor

Som randvillkor har regn, spillvattenflöde och recipientnivå använts. Regnet fördelas jämt på alla avrinningsområden i modellen. Avrinningsområdets storlek och andelen av hårdgjorda ytor avgör sedan hur stor avrinning som genereras från varje avrinningsområde. Varje avrinningsområde är kopplad till närmaste dagvatten eller kombinerad nedstigningsbrunn.

Spillvattnet har kopplats till spillvatten och kombinerade nedstigningsbrunnar i avloppssystemet i MIKE Urban modellen. Spillvattenmängden baseras på uppmätt dygnsförbrukning av dricksvatten i modellområdet. Dygnsförbrukningen av dricksvatten för varje fastighet har kopplats till dess koordinat för att det ska vara möjligt för MIKE Urban att koppla vattenförbrukningen till närmaste spillvatten eller kombinerade nedstigningsbrunn.

Alla utlopp har vid simulering varit kopplade till MIKE 11 modellen. Det är därmed vattennivån i MIKE 11 modellen som har varit randvillkor för utloppen i MIKE Urban modellen. Detta möjliggör att skapa en dynamisk simulering av hur vattennivån i recipienten kan variera och hur det påverkar utloppets kapacitet. I de utlopp som inte har en backventil kan vattnet från MIKE 11 modellen orsaka en uppdämning i avloppssystemet på grund av att vatten tränger in via utloppen. Detta kan även ske om det finns en backventil, när vattennivån i vattendraget är högt samtidigt som det regnar kraftigt.

Plats	MUID	Recipient	Dimension
Flöjelbergsgatan	M01_ADN18204	Mölndalsån	ø500 mm
Varbergsgatan	M02_ADN26585	Mölndalsån	ø600 mm
Grafiska vägen	M03_ADN18220	Mölndalsån	ø1200 mm
Falkenbergsgatan	M04_ADN26797	Mölndalsån	ø750 mm
Falkenbergsgatan	M05_ADN26797	Mölndalsån	ø750 mm
Nordgårdsgata	M06_ADN26609	Mölndalsån	ø600 mm
Almedalsvägen	M07_ADB26608	Mölndalsån	ø300 mm
Sankt Sigfrids gata	M08_ADN26629	Mölndalsån	ø1500 mm
Fredriksdalsgatan	M09_ADN26620	Mölndalsån	ø225 mm
Milpålegatan	M10_ADN26798	Mölndalsån	ø750 mm
Milpålegatan	M11_ADN26798	Mölndalsån	ø750 mm
Nejlikevägen	M12_ADIN28761	Mölndalsån	ø1000 mm
Skårs Led	M13_ADIN26793	Mölndalsån	ø800 mm
Vörtgatan	M14_ADN26545	Mölndalsån	ø700 mm
Liseberg S. Parkering	M15_ADN17894	Mölndalsån	ø750 mm
Getebergsled	M16_ADN17888	Mölndalsån	ø500 mm
Liseberg	M28_ADN17915	Mölndalsån	ø500 mm
Örgrytevägen	M17_ADN17987	Mölndalsån	ø1200 mm
Örgrytevägen	M18_ADN17956	Mölndalsån	ø300 mm
Svenska Mässan	M19_ADIN17968	Mölndalsån	ø1200 mm
Svenska Mässan	M20_ADN17794	Mölndalsån	ø1000 mm
Svenska Mässan	M21_ADN17801	Mölndalsån	ø300 mm
Gudmundsgatan	M22_ADN17994	Mölndalsån	ø500 mm
Valhallagatan	M23_ADN17823	Mölndalsån	ø1200 mm
Tritongatan	M24_ADN17819	Mölndalsån	ø600 mm
Valhallagatan	M25_ADN17821	Mölndalsån	ø225 mm
Blekeallén	M26_ADN17831	Mölndalsån	ø800 mm
Drakegatan	M27_ADIN17336	Mölndalsån	ø500 mm
Karin Boyes gata	F01_ADD830	Fattighusån	ø315 mm
Ullevigatan	F02_ADN40183	Fattighusån	ø600 mm
Barnhusgatan	F03_ADD2377	Fattighusån	ø315 mm
Eva Rodhes gata	F04_ADD2378	Fattighusån	ø315 mm
Stampens kyrkogård	G01_ADIN17875	Gullbergsån	ø600 mm
Stampens kyrkogård	G02_ADIN17875	Gullbergsån	ø600 mm
Stampens kyrkogård	G03_ADD8201	Gullbergsån	ø1200 mm
Alströmergatan	G04_ADN17869	Gullbergsån	ø1000 mm
Bältgatan	G05_ADIN17882	Gullbergsån	ø950 mm
Bältgatan	G06_ADD7061	Gullbergsån	ø450 mm
Ranängsgatan	G07_ADD2880	Gullbergsån	ø1000 mm
L. Garverigatan	G08_ADD1521	Gullbergsån	ø600 mm
Gullbergsbrogatan	G09_ADN4779	Gullbergsån	ø400 mm
Södra vägen	R01_ADRN1334	Rosenlundskanalen	ø1200 mm

Tabell 7 Sammanställning av alla utlopp till recipient i modellområdet. Dessa utlopp kopplas ihop med MIKE 11 modellen vid simulering.

6.4 MIKE 11

6.4.1 Mölndalsån

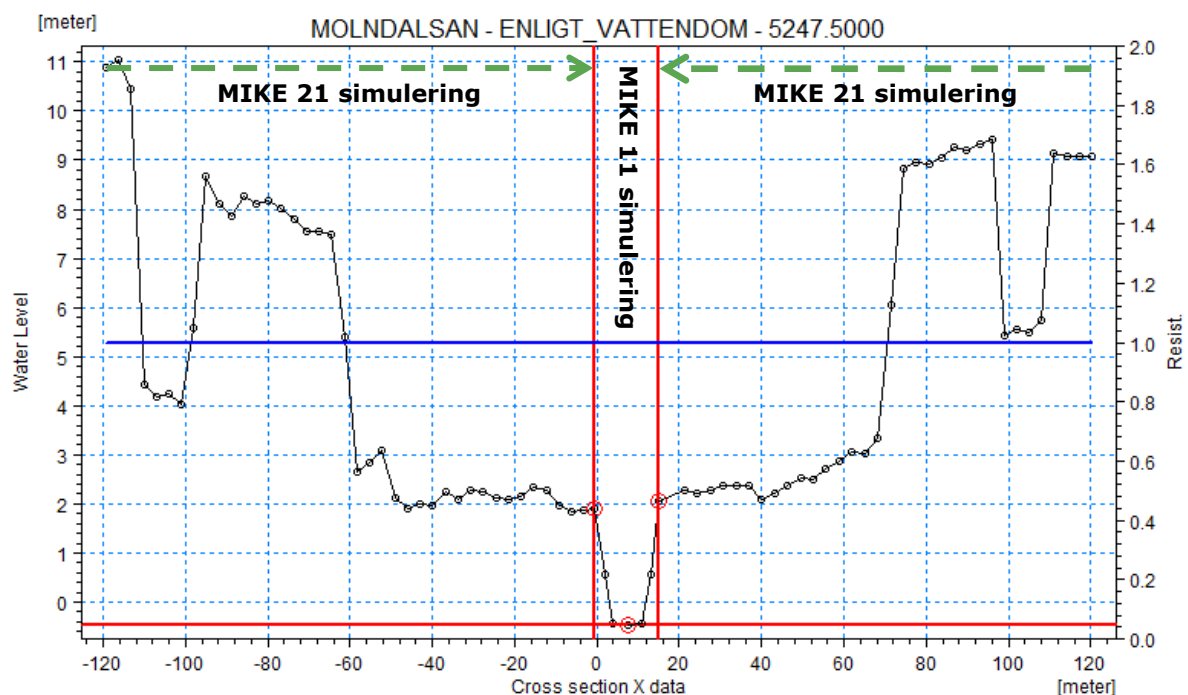
I projektet Hydromodell för Göteborg mottogs två MIKE 11 modeller för Mölndalsån. Den första var uppbyggd av Trafikverket och den andra av MSB (Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap). MSB hade nyligen genomfört en översvåmningskartering för Mölndalsån. I samband med denna kartering hade MIKE 11 modellen för Mölndalsån genomgått och uppdaterats. Valet blev därför att i projektet Hydromodell för Göteborg ta utgångspunkt i MIKE 11 modellen från MSB.

Under 2014 färdigställdes ett nytt dämme i Mölndalsån vid Gårda. Information angående det nya dämmet erhöles och MIKE 11 modellen uppdaterades med det nya dämmet. Även bräddkanten vid sidan om dämmet inkluderades.

I MIKE 11 modellen från MSB var båda portarna i slussen i Fattighusån satta till att vara öppna. Den ena av portarna stängdes därför och den andra porten styrdes dynamisk för att kunna åter-s skapa effekten av att vattennivå i Fattighusån normalt ligger runt +1,40 m RH2000.

I projektet Hydromodell för Göteborg användes koordinatsystemet SWEREF 99 12 00, men MIKE 11 modellen från MSB var inlagd med koordinatsystemet SWEREF 99 TM. Därför konverterades MIKE 11 modellen till koordinatsystemet SWEREF 99 12 00.

I en MIKE 11 modell beskrivs normalt tvärsektionerna även med omkringliggande terräng, eftersom även detta område kan bli översvåmnat vid höga flöden. I projektet Hydromodell för Göteborg skulle dock MIKE 11 modellen endast användas till att beskriva flödet i själva vattendraget. Översvåmning av de omkringliggande områdena skulle istället beskrivas av en översvåmningsmodell i MIKE 21. Därför flyttades markörerna in till vattendragets kant, se figur 10. Om vattendraget blir fullt på grund av högt flöde eller hög vattennivå i recipienten transporteras vattnet istället över i översvåmningsmodellen.



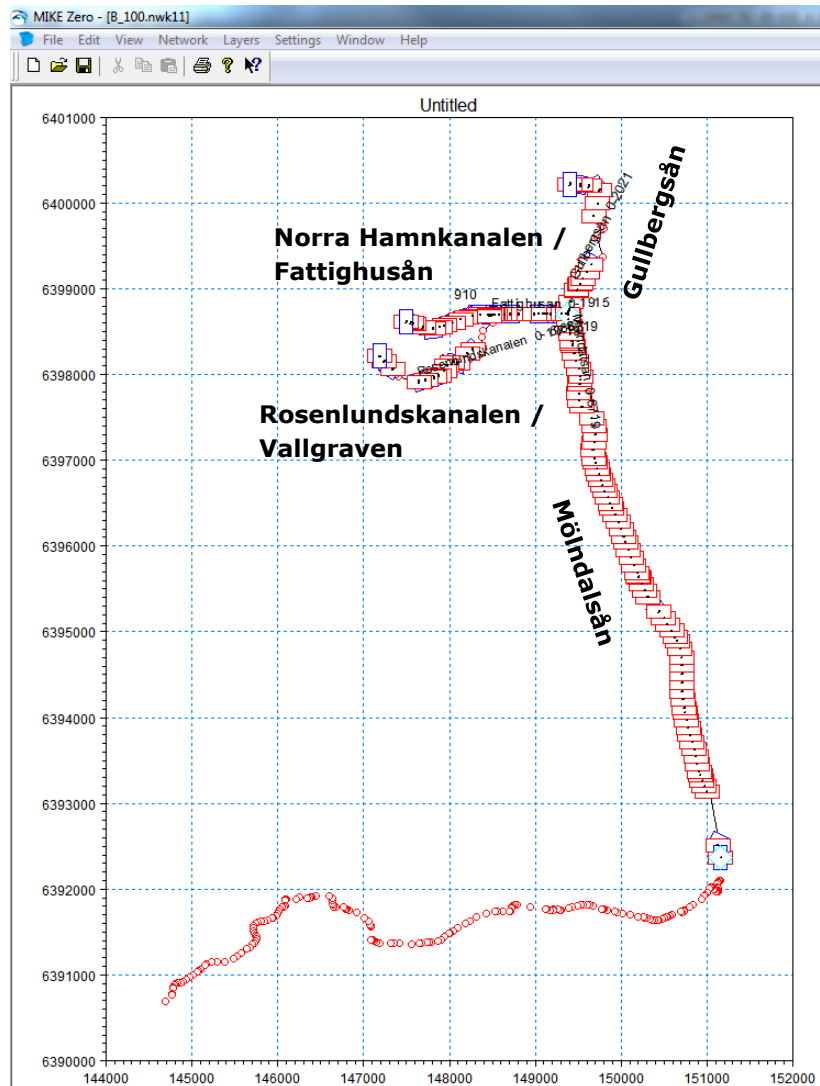
Figur 10 Exempel på hur markörerna har flyttats in till vattendragets kant i MIKE 11 modellen. Se de grönstreckade linjerna. De röda vertikala linjerna illustrerar den kant av vattendraget som används i modellen.

Utloppen i MIKE 11 modellen skulle kopplas till MIKE 21 modellen, för att vattnet i vattendraget skulle kunna flöda ut i Göta Älv som beskrevs av MIKE 21 modellen. MIKE 21 modellen för Göta

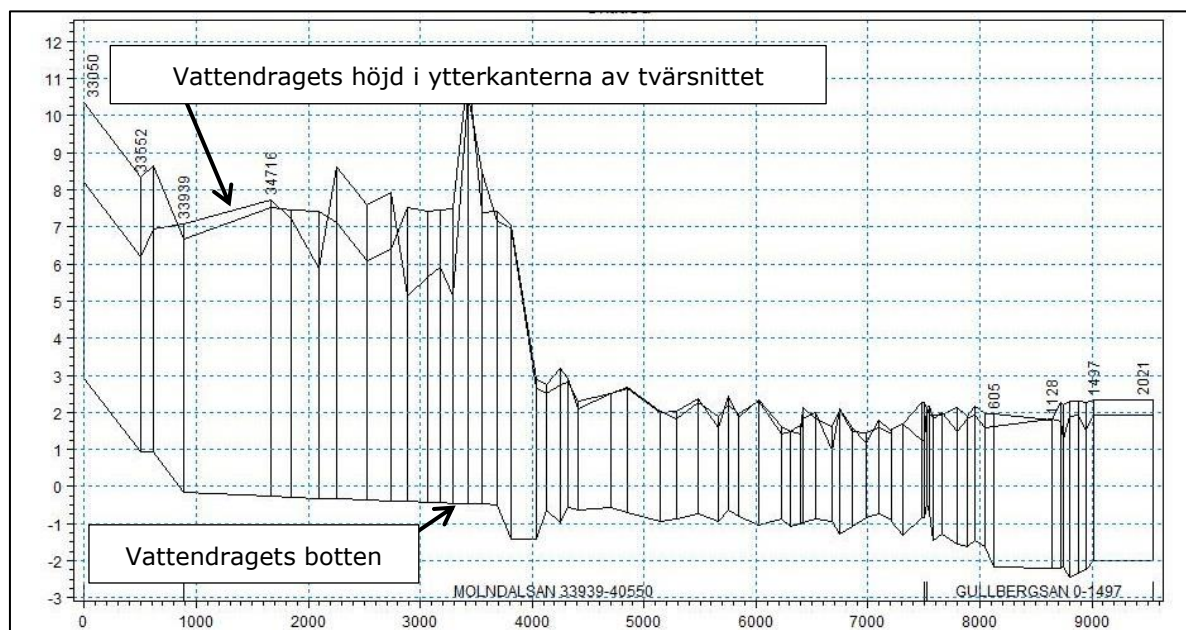
Älv byggdes upp baserat på en djupmätning. Denna djupmätning sträckte sig inte tillräckligt långt in i de anslutande vattendragen. Därför fick vattendragen i MIKE 11 modellen förlängas längre ut i Göta Älv. Den sista tvärsektionen i MIKE 11 modellen återanvändes och kopierades längre ut i älven.

Inflödet i MIKE 11 modellen för Mölndalsån kopplas på i starten av vattendraget.

En översikt av hela MIKE 11 modellen för Mölndalsån visas i figur 11 och en längdprofil längsmed ån visas i figur 12.



Figur 11 Översikt av MIKE 11 modellen för Mölndalsån.



Figur 12 Längdprofil längs Mölndalsån och Gullbergsån.

6.4.2 Sävveån

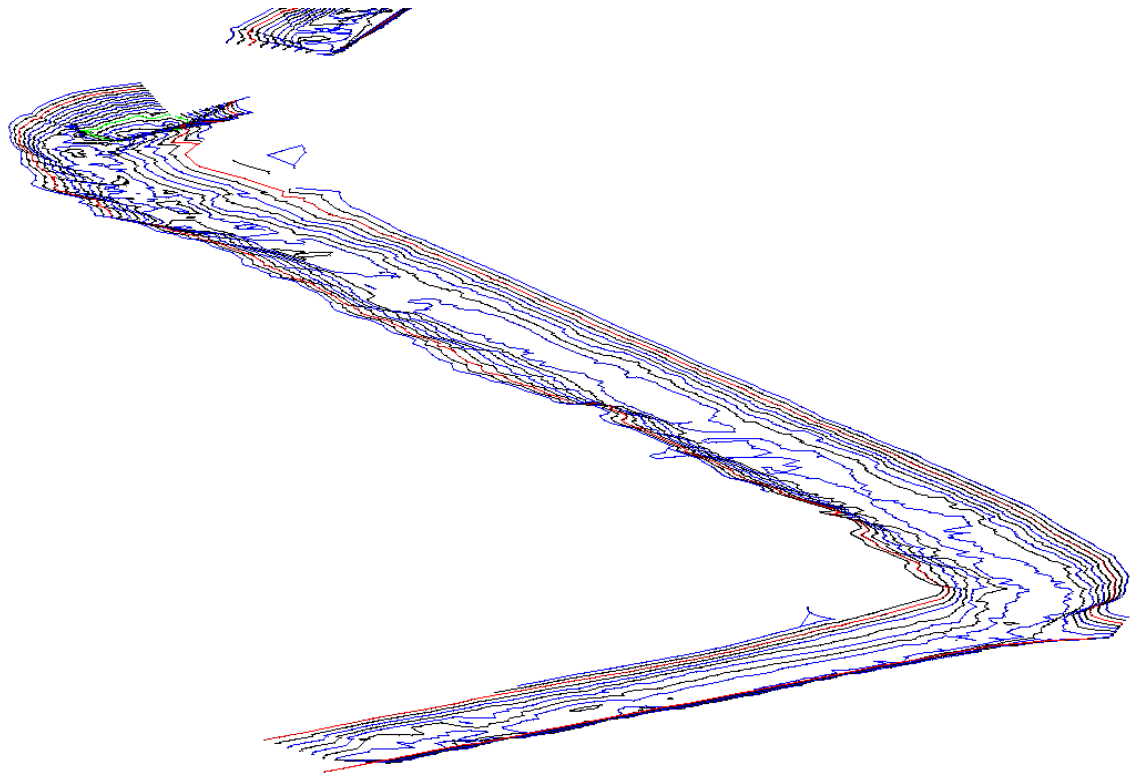
Det fanns ingen MIKE 11 modell för Sävveån vid starten av projektet Hydromodell för Göteborg. En djupmätning av vattendraget var tillgängligt och denna användes till att bygga upp en MIKE 11 modell. Djupmätningen bestod av isolinjer som beskrev Sävveåns djup, se figur 13. Isoliner konverterades till punkter för tvärsektioner var 50 m, se figur 14. Dessa punkter importerades därefter in i en MIKE 11 modell.

MIKE 11 modellen för Sävveån startar ca 100 m uppströms Lemmingsgatan och sträcker sig ner till utloppet i Göta Älv. Då modellens uppbyggnad är baserad på en djupmätning finns inte omkringliggande terräng med i tvärsnitten för Sävveån.

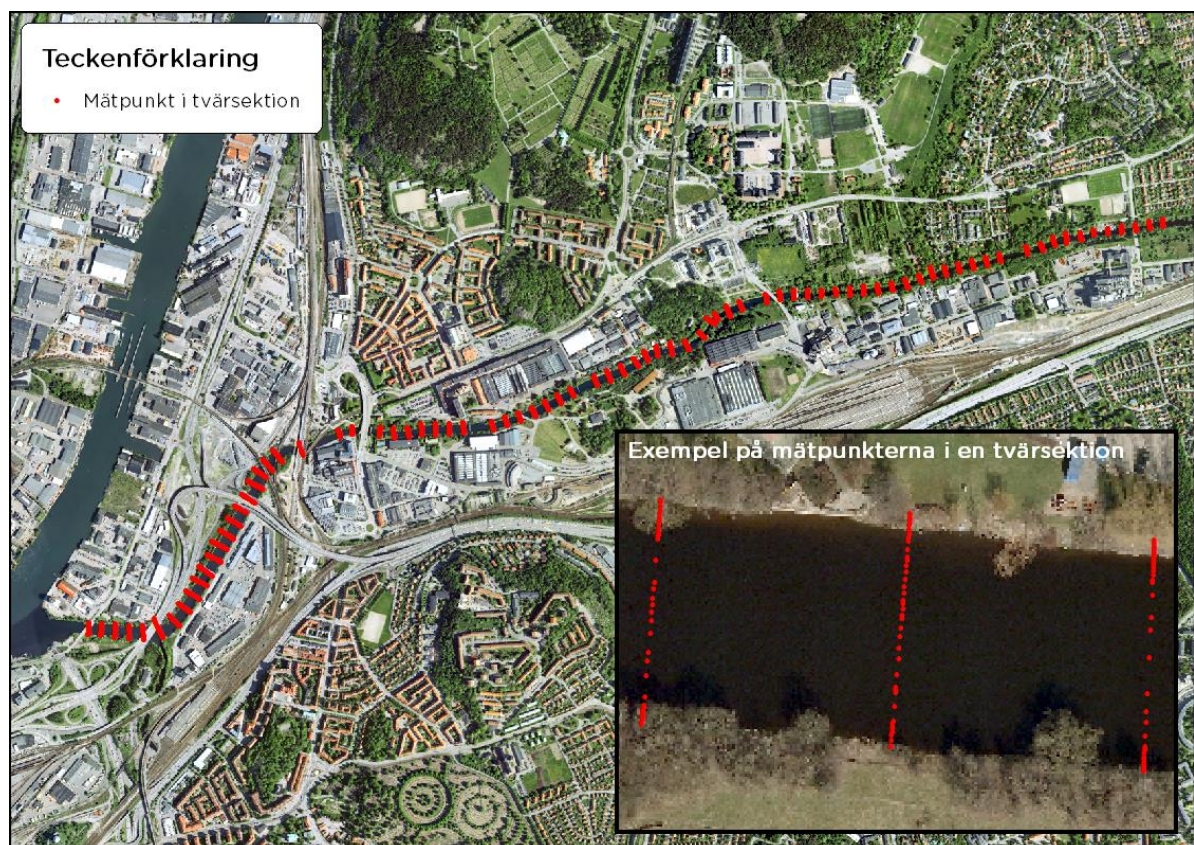
Broarna i Sävveån har lagts in baserat på uppgifter från insamlade ritningar presenterade i bilaga 2. I det insamlade materialet fanns inte ritningar för alla broar och där ritningar saknats har en bedömning gjorts av hur pass begränsande bron var för flödet, baserat på bilderna i bilaga 2. Om bron var hög och därmed inte begränsar flödet i ån har istället tvärsnittet från tvärsektion uppströms bron använts.

Inflödet i MIKE 11 modellen för Sävveån kopplas på i starten av vattendraget uppströms Lemmingsgatan.

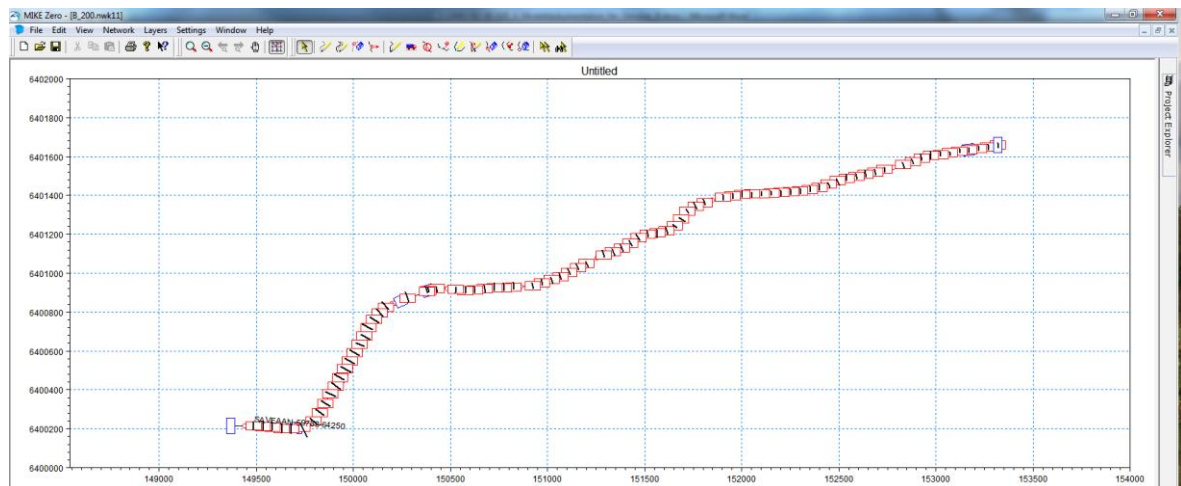
En översikt av hela MIKE 11 modellen för Sävveån visas i figur 15 och en längdprofil av ån visas i figur 16.



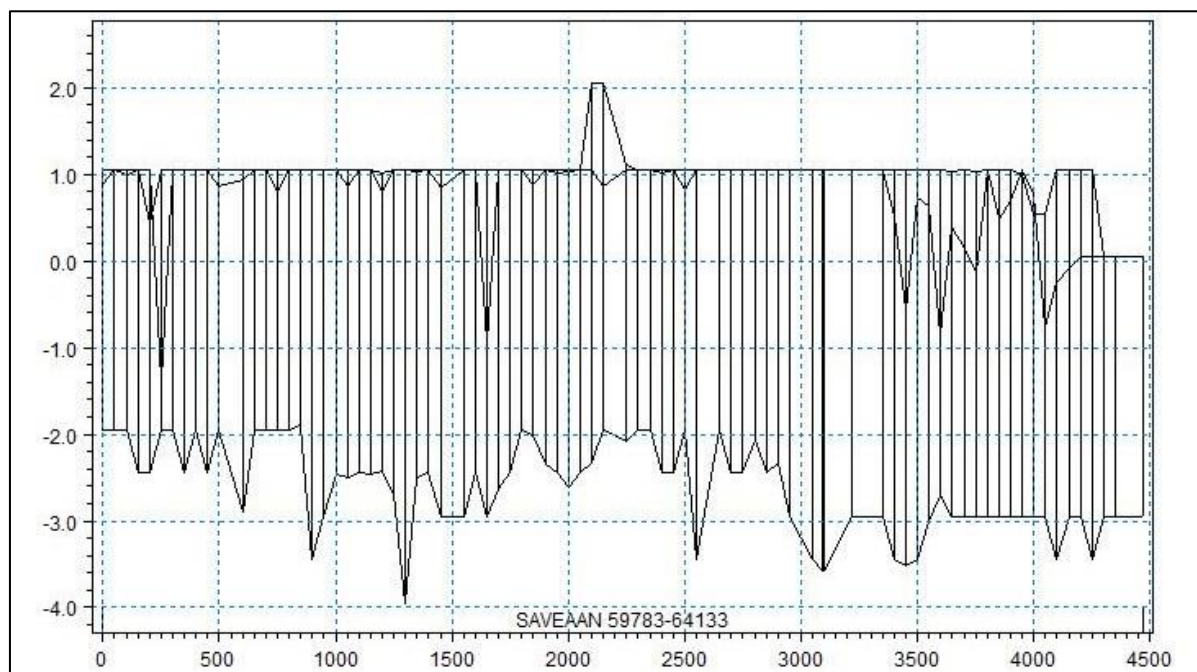
Figur 13 Översikt av 3D modellen i Auto CAD format för Sävån. Modellen användes för att hämta djupet för alla tvärsektioner i MIKE 11 modellen.



Figur 14 Översikt av de tvärsektioner som använts för att bygga upp MIKE 11 modellen för Sävån. Mät punkterna i tvärsektionen är hämtat från en djupmätning från en 3D modell i Auto CAD.



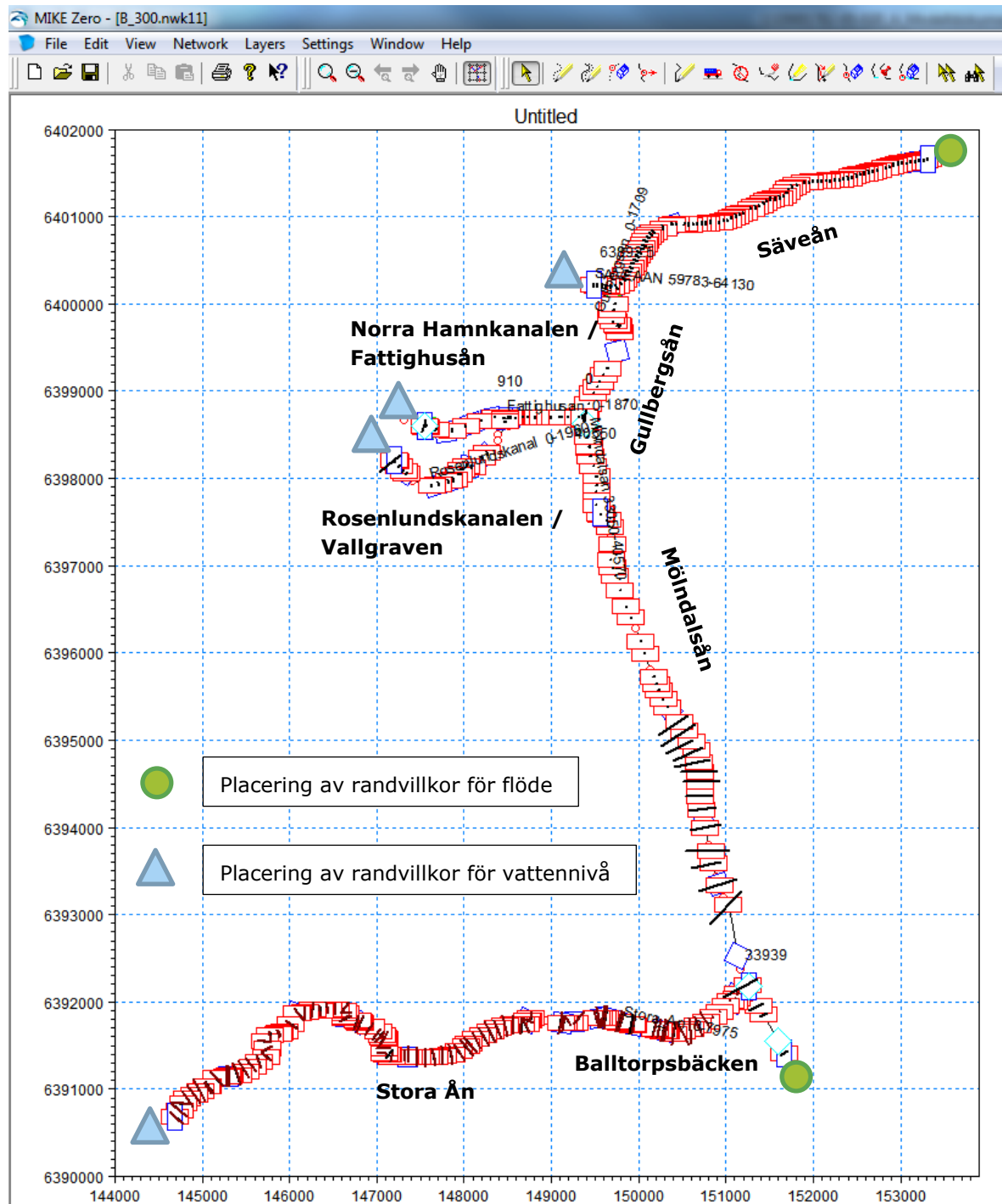
Figur 15 Översikt av MIKE 11 modellen för Sävåån.



Figur 16 Längdprofil för Sävåån från öst mot väst, d.v.s Lemmingsgatan ligger till vänster i bild och utloppet i Göta älv till höger.

6.4.3 Sammansatt modell för Mölndalsån och Sävån

Inledningsvis i projektet Hydromodell för Göteborg var MIKE 11 modellerna för Mölndalsån och Sävån uppdelade i två modeller. Detta gäller för hydromodellerna med namn B_100 och B_200. Längre fram i projektet sattes dessa modeller ihop till en modell, eftersom de hade en hydraulisk koppling via Gullbergsån. Den sammansatta modellen har modell nummer B_300 och efterföljande, se figur 17.



Figur 17 Översikt av den sammansatta MIKE 11 modellen för Mölndalsån och Sävån.

Vid simulering används två olika typer av randvillkor, se figur 17. Det första är en tidsserie med ett inflöde i Mölndalsån och Sävån. Det andra är en tidsserie med vattennivån i havet eller Göta Älv. Observera att randvillkoret för flöde i Mölndalsån av misstag blev placerat för långt upp. Det

placerades i Kållereds bäcken och borde istället varit kopplat där grenen från Stensjön kommer ner till Mölndalsån. Detta har uppdaterats i modellen med namn A_400.

6.5 MIKE 21 – Översvämningsmodell

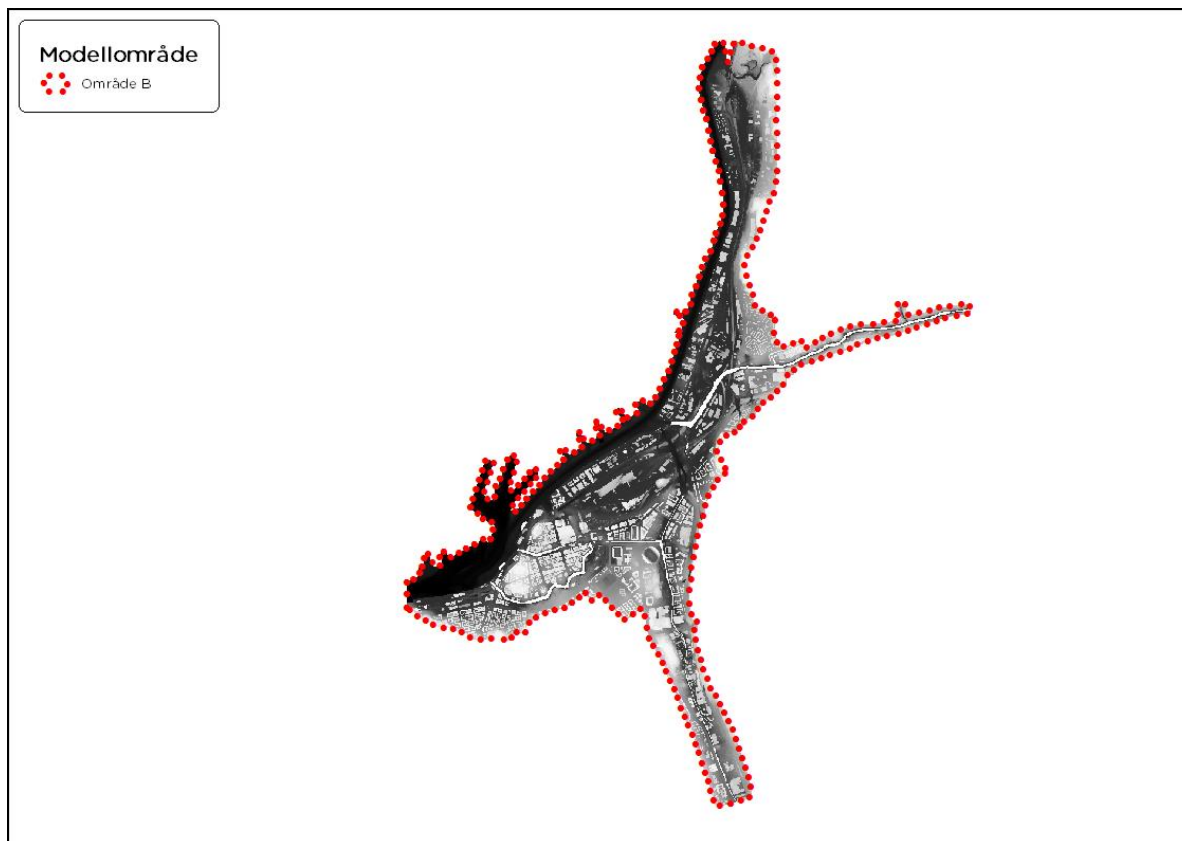
Översvämningsmodellen för Område B är uppbyggd baserat på både Stadsbyggnadskontorets höjdmodell och Marin Miljöanalys djupmätning av Göta Älv, se figur 18. Både Stadsbyggnadskontorets höjdmodell och djupmätningen från Marin Miljöanalys fanns tillgänglig i xyz data format. Utifrån xyz data skapades en digital terrängmodell (DTM). Upplösningen i översvämningsmodellen är 4 m i plan.

Anledningen till att Göta Älv beskrevs som en del av MIKE 21 modellen, och inte i MIKE 11, är att i MIKE 11 skulle det vara svårare att beskriva alla hamnbassänger korrekt, som t.ex. Frihamnen. Det skulle också vara svårare att definiera kopplingspunkten mellan en MIKE 11 modell och översvämningsmodellen längs kajkanten. Därför togs beslutet att beskriva Göta Älv fullständigt i MIKE 21 modellen. Det är även möjligt att koppla ett nedströms randvillkor till MIKE 21 modellen för att simulera en stigande havsnivå samtidigt med att ett inflöde kopplas till den andra änden av MIKE 21 modellen.



Figur 18 Översikt av vilket underlag som använts för att bygga upp översvämningsmodellen. Underlaget var i form av en DTM (Digital Terräng Modell). För Göta Älv har en djupmätning använts.

I Stadsbyggnadskontorets höjdmodell var byggnader bortskurna och därför var det nödvändigt att rektifiera byggnadstaken in i den digitala höjdmodellen för översvämningsmodellen. Höjdsatta byggnadstak mottogs från Stadsbyggnadskontoret i shape format och därefter rektifierades byggnaderna in och importerades till MIKE 21 för att skapa en översvämningsmodell. Modellområdets avgränsning och de rektifierade byggnaderna visas i figur 19.

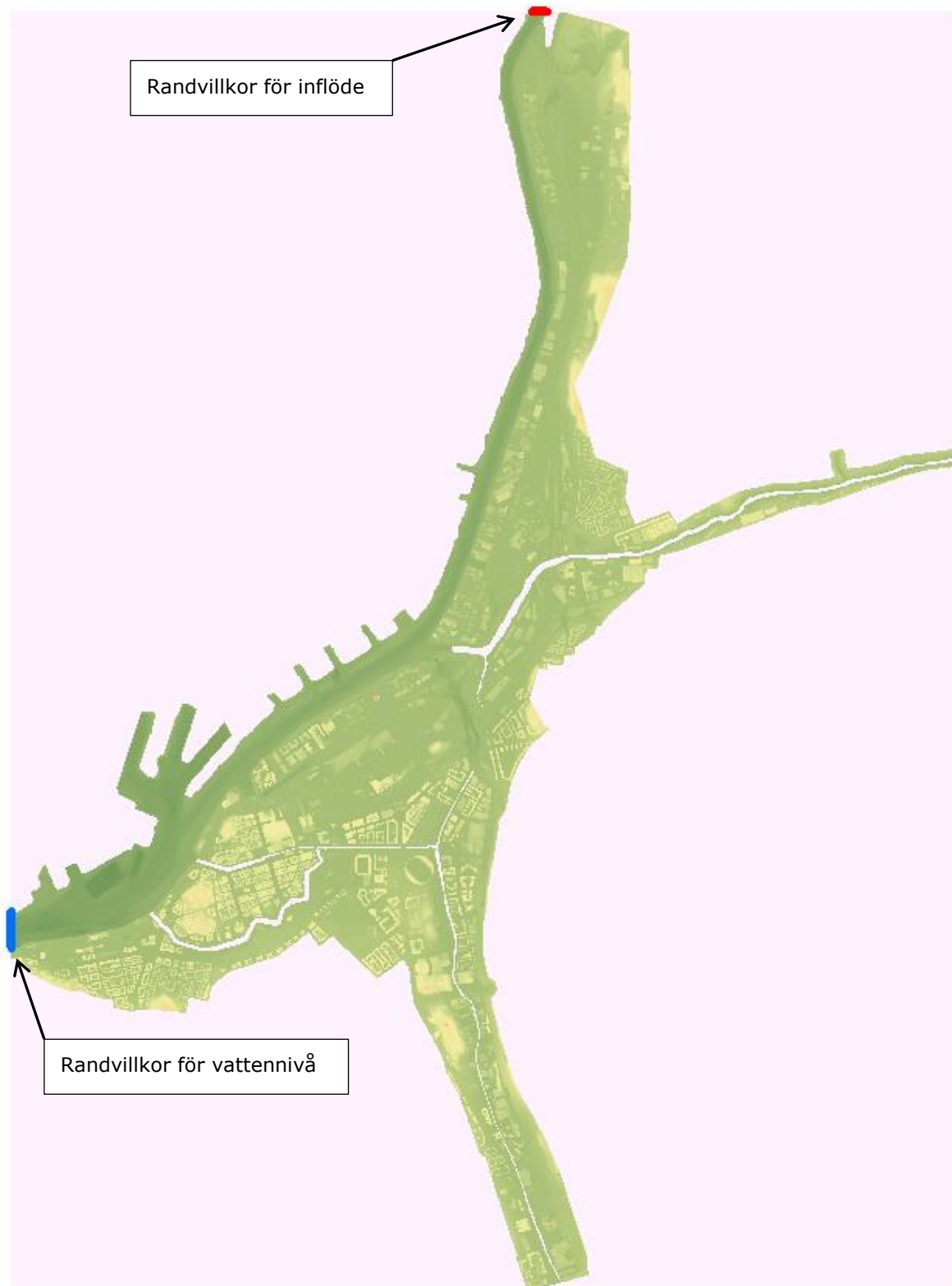


Figur 19 Urban översvämningssmodell för modellområde B. De rektifierade byggnaderna är högre än omkringliggande terräng och har därför ljusare färg. Observera att modellområdet i denna version av Hydromodellen inte täcker Hisingen. Eventuella översvämningar av de lågtliggande områdena på Hisingen blir därmed inte simulerade. Eftersom Göta Älv är så bred borde detta ha mindre betydelse för översvämningarnas utbredning i modellområdet, då det är vattennivån i havet som är avgörande för översvämningarnas utbredning.

För att kunna simulera en varierande vattennivå i Göta Älv och simulera ett inflöde vid Lärjemotet kopplades två randvillkor till MIKE 21 modellen.

I en MIKE 21 modellen ska en höjd definieras som kallas "Landvalue". Denna nivå ska vara tillräckligt hög för att en vattennivå i modellen aldrig ska kunna överstiga den. Orsaken till att detta kallas för Landvalue är att MIKE 21 modellen ursprungligen var tänkt att användas för marina simuleringar och då var landområden den del av modellen som inte skulle simuleras. I fallet med hydromodellen ska modellen användas till båda ändamålen, nämligen att simulera flöde i Göta Älv och översvämning på terrängen. I hydromodellen ska Landvalue därför förstås som gränsen mellan vad som är innanför respektive utanför modellområdet. Dvs. i modellen finns inte högt placerade områden som inte blir översvämmade av en hög vattennivå i havet eller översvämning från ett stort vattendrag med. Ytan som utgörs av de större vattendragen definieras också som Landvalue eftersom flödet i vattendragen simuleras i MIKE 11 modellen och inte i MIKE 21 modellen, förutom för Göta Älv. Landvalue i hydromodellen är satt till +150 m RH2000.

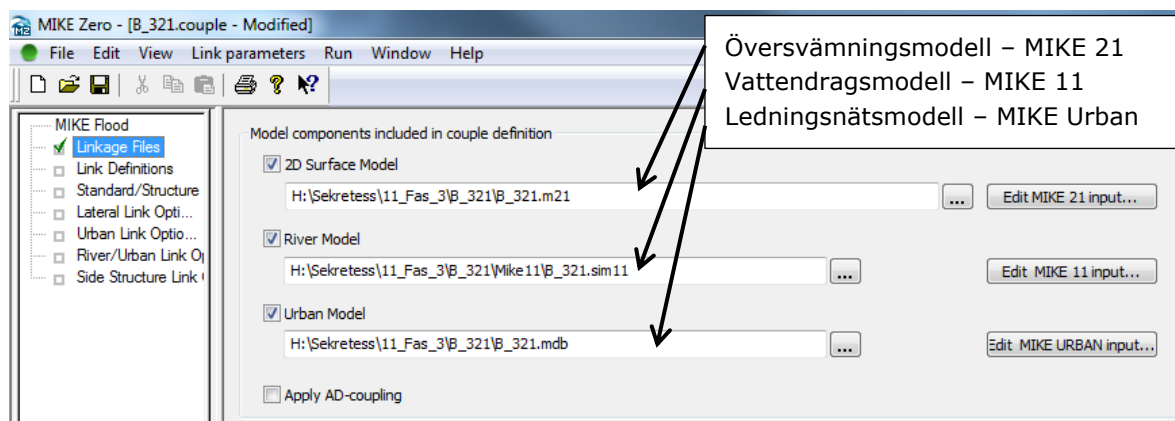
För att kunna koppla ett randvillkor till MIKE 21 modellen måste kanten av MIKE 21 modellen vara lägre än Landvalue. Därför har urgröpningen av Göta Älv fortsatt hela vägen ut till kanten av MIKE 21 modellen vid Älvsborgsbron och Lärjemotet. Därmed kan ett randvillkor med varierande vattennivå kopplas till MIKE 21 modellen vid Älvsborgsbron och ett inflöde vid Lärjemotet. För uppströms änden av Mölndalsån och Säveån har MIKE 21 modellen stängts genom att skapa en mur av Landvalue längs kanten av MIKE 21 modellen. Randvillkoren till Mölndalsån och Säveån kopplas istället till MIKE 11 modellen.



Figur 20 Översikt av MIKE 21-modellen som används vid simulering av Mölndalsån/Säveån. Den blå linjen visar var nedströms vattennivå kopplas till MIKE 21-modellen som randvillkor (vattenstånd Rosenlund/Eriksberg ur parameterlista). Den röda linjen visar var uppströms flöde kopplas till MIKE 21-modellen som randvillkor (flöde Göta Älv ur parameterlista).

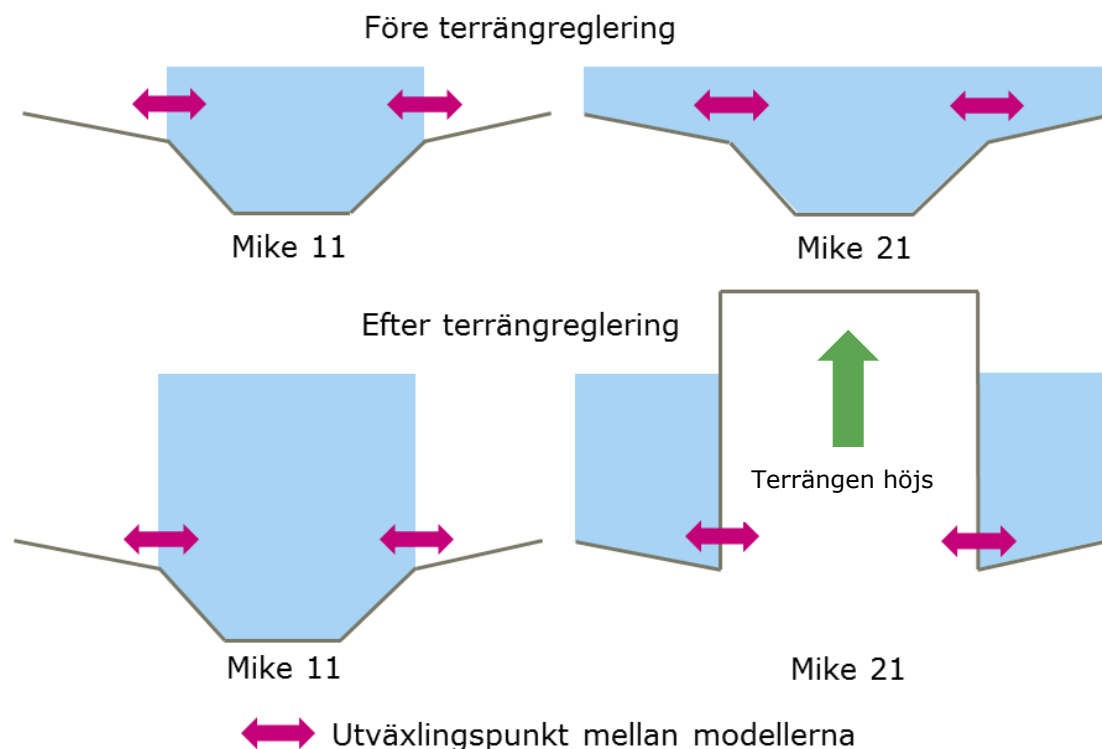
6.6 Tre-vägskoppling

För att kunna skapa en hydromodell med en MIKE Urban, MIKE 11 och MIKE 21 modell måste en kopplingsfil (*.couple) skapas. Kopplingsfilen skapas och redigeras liksom för MIKE 11 och MIKE 21 modellen i en programvara som kallas MIKE Zero, se figur 21.



Figur 21 Skärmdump från fliken "Linkage Files" i MIKE Zero som visar vilka modeller som kan kopplas samman till en hydromodell.

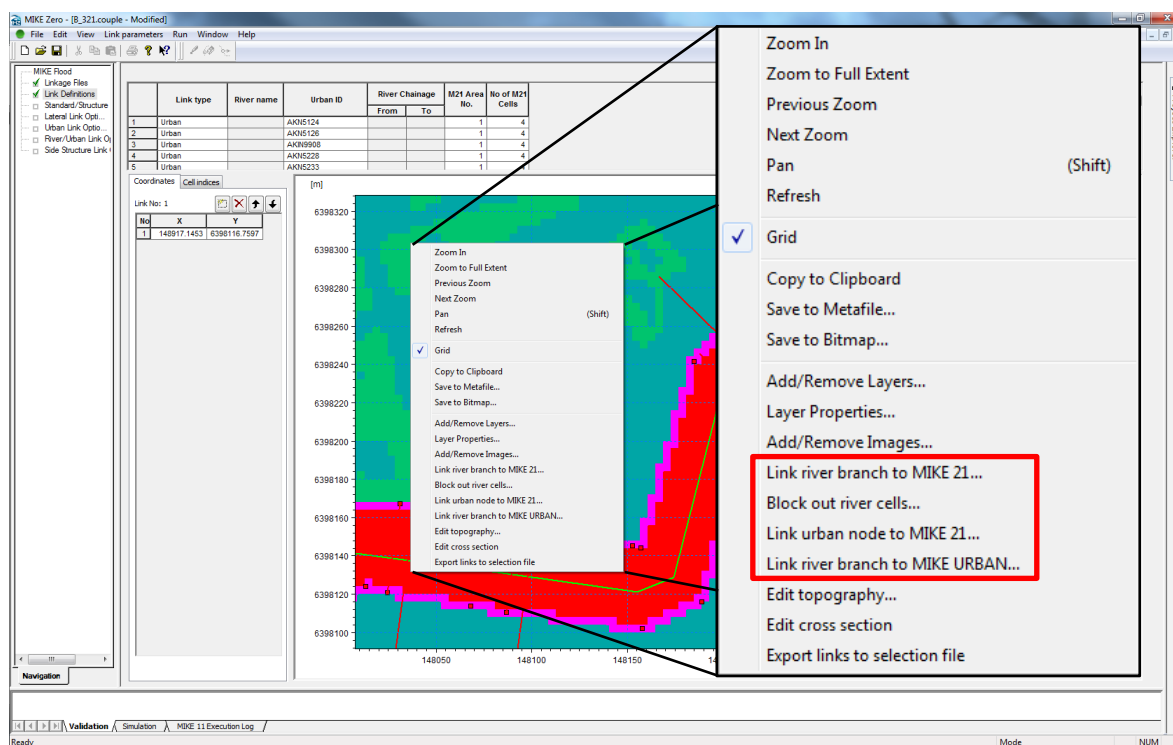
Cellerna i översvämningsmodellen, MIKE 21-modellen, mellan vattendragets sidor i MIKE 11-modellen höjs upp för att vattnet inte ska kunna magasineras i MIKE 11 och MIKE 21-modellen samtidigt. Detta skulle kraftigt överskatta MIKE 11-modellens transportkapacitet och därmed underskatta översvämningsrisken. En principiell skiss finns i figur 22. Den översta MIKE 11-modellen visar en lägre vattennivå, eftersom vattnet i vattendraget lagras både i MIKE 11-modellen och i MIKE 21-modellen samtidigt. Vattendraget får därmed beräkningstekniskt dubbelt så stor kapacitet. För att undvika detta höjs alltså terrängen i vattendraget i MIKE 21-modellen, för att vattnet endast ska kunna lagras i MIKE 11-modellen.



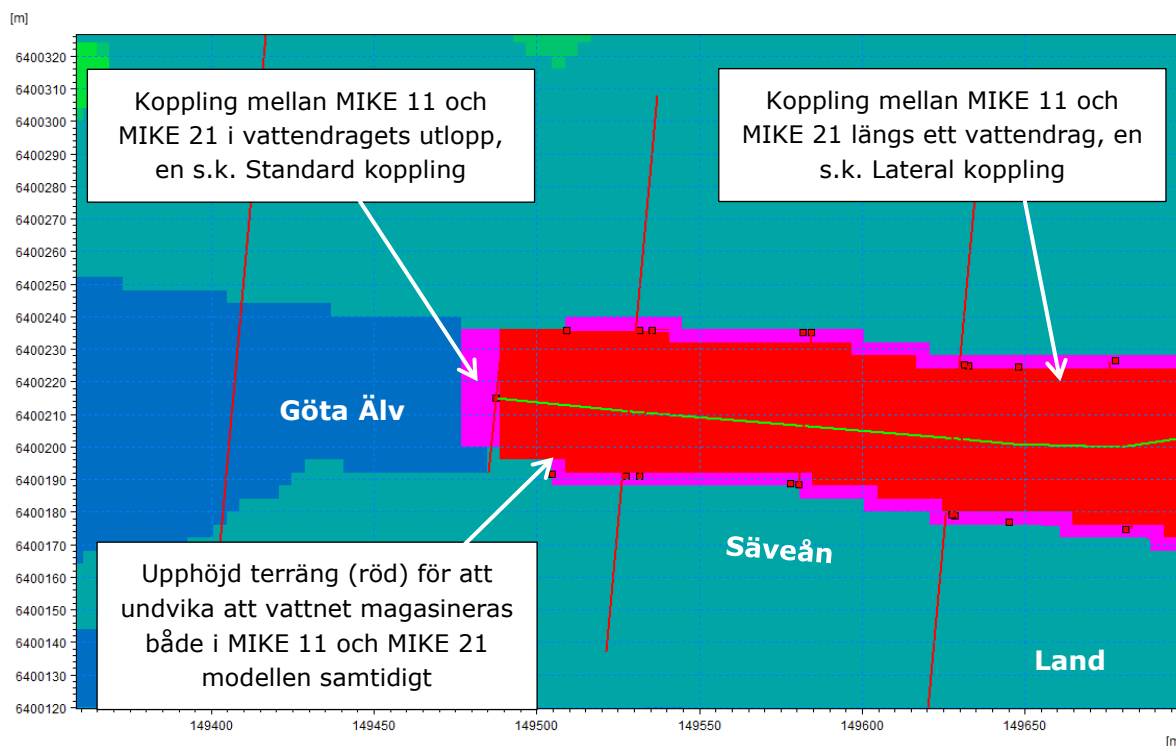
Figur 22 Principiell skiss som visar hur vattnet kan magasineras i MIKE 11-modellen och MIKE 21-modellen samtidigt och därmed underskatta översvämningsrisken. För att förhindra detta har terrängen i MIKE 21-modellen höjts på den ytan som MIKE 11-modellen beskriver.

När översvämningsmodell, vattendragsmodell och ledningsnätsmodell har valts i MIKE Zero måste kopplingspunkter mellan modellerna definieras. Detta görs under fliken "Link Definitions" i MIKE Zero, se figur 23. Genom att högerklicka på kartan synliggörs de tillgängliga verktygen för att koppla modellerna med varandra. Dessa är följande:

- **Link river branch to MIKE 21** – Här definieras hur vattendragsmodellen ska kopplas till översvämningsmodellen. I projektet Hydromodell för Göteborg har två olika typer av kopplingar använts, se figur 24. Den första är en s.k. Lateral koppling, där kanten av vattendraget kopplas till översvämningsmodellen. Detta gör att om vattennivån stiger så översvämmas de omkringliggande områdena. Den andra är en s.k. Standard koppling, där utlopp eller inlopp till ett vattendrag kopplas till MIKE 21 modellen. Detta används vid vattendragens utlopp i Göta Älv. Om detta görs ignoreras den kopplade tidsserien i vattendragsmodellen och istället används vattennivån i Göta Älv som simuleras med MIKE 21 modellen. Tidsserien används endast för att initialt i simuleringen sätta vattennivån i vattendragen.
- **Block out river cells** – Detta verktyg genererar en markeringsfil som kan användas för att höja upp terrängen i vattendraget till Land Value, se figur 22.
- **Link urban node to MIKE 21** – Här definieras vilka nedstigningsbrunnar i ledningsnätsmodellen som ska kopplas till översvämningsmodellen.
- **Link river branch to MIKE Urban** – Här definieras vilka utlopp i ledningsnätsmodellen som ska kopplas till vattendragsmodellen. Det är även möjligt att koppla bräddavlopp och pumpstationer till vattendragsmodellen. De senare två har dock inte använts i projektet Hydromodell för Göteborg.



Figur 23 Skärmdump från fliken "Link Definitions" i MIKE Zero där de individuella kopplingarna skapas.



Figur 24 Översikt av hur kopplingarna mellan MIKE 11 och MIKE 21 ser ut i MIKE Zero vid Sävåns utlopp i Göta Älv.

Vattendragen har kopplats till översvämningsmodellen både längs vattendragen och vid vattendragens utlopp i Göta Älv. I tabell 8 visas vilka sträckor i vattendragen som är kopplade i översvämningsmodellen. Kopplingarna är uppdelade eftersom kulvertar i vattendragen inte ska kopplas och vattendragen inte får korsa varandra.

Vattendrag	Sida	Start station	Stop station
Mölndalsån	Västra	37085	40560
Mölndalsån	Östra	37085	40560
Fattighusån/Norra Hamnkanalen	Södra	0	890
Fattighusån/Norra Hamnkanalen	Södra	927	1830
Fattighusån/Norra Hamnkanalen	Norra	0	1830
Rosenlundskanalen	Södra	10	1910
Rosenlundskanalen	Norra	10	1910
Gullbergsån	Västra	0	637
Gullbergsån	Östra	0	637
Gullbergsån	Västra	1255	1400
Gullbergsån	Östra	1255	1400
Sävåån	Södra	59795	63880
Sävåån	Södra	63900	64110
Sävåån	Norra	59790	64110

Tabell 8 Redovisning av vilka stationer som är kopplade mellan MIKE 11-modellen och MIKE 21-modellen i den kopplade modelluppsättningen för Mölndalsån och Sävåån.

Ledningsnätsmodellen i MIKE Urban och översvämningsmodellen i MIKE 21 kan kopplas på olika sätt. Antingen kan kopplingen ske i MIKE Urban eller kan kopplingen definieras i MIKE Zero. I MIKE Urban finns möjligheten att koppla nedstigningsbrunnarna i MIKE Urban till mer än en cell i översvämningsmodellen. Om nedstigningsbrunnarna kopplas till t.ex. 4 celler i översvämnings-

modellen förbättras den numeriska stabiliteten i modellen. Därför har denna metod använts i hydromodellerna. I kopplingspunkten kan olika parametrar definieras, de använda parametrarna visas i tabell 9.

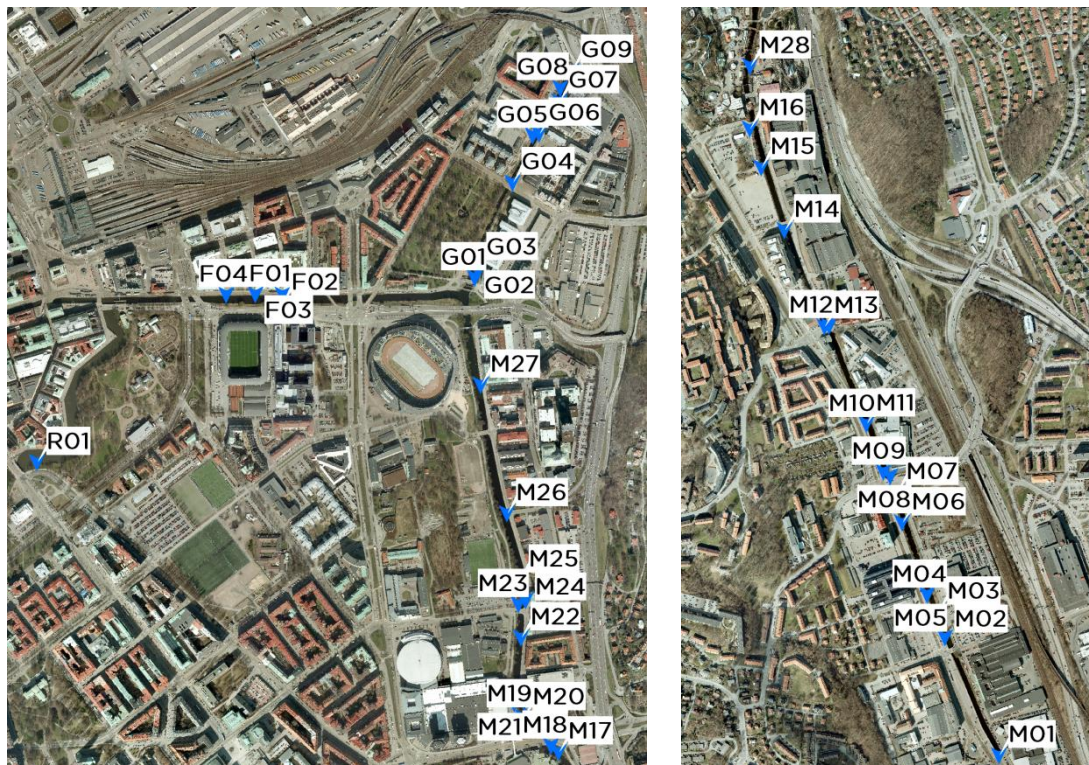
Parameter	Konstant
Coupling Method	Orifice Equation
Max flow	0.5 m ³ /s
Inlet Area	5 m ²
Qdh faktor	0,05
Antal kopplade celler	4 st. (4 x 4 m)

Tabell 9 Parametrar för koppling mellan MIKE Urban och MIKE 21-modellen.

Den tredje och sista kopplingen sker mellan vattendragsmodellen och ledningsnätmodellen. I hydromodellen har utloppen i ledningsnätmodellen kopplats till översvänningsmodellen. MIKE Zero hittar själv närmaste sektion i vattendragsmodellen som utloppet ska kopplas till. Ett utdrag av kopplade utlopp mellan ledningsnätmodellen och vattendragsmodellen visas i figur 25. En översikt av alla utlopp visas i figur 26.

	Link type	River name	Urban ID	River Chainage		M21 Area No.	No of M21 Cells
				From	To		
893	River/Urban	Molndalsan	M01_ADN18204	37085.80			
894	River/Urban	Molndalsan	M02_ADN26585	37386.77			
895	River/Urban	Molndalsan	M03_ADN18220	37563.29			
896	River/Urban	Molndalsan	M04_ADN26797	37563.29			
897	River/Urban	Molndalsan	M05_ADN26797	37563.29			

Figur 25 Översikt av koppling mellan utlopp i MIKE Urban modellen och MIKE 11 modellen.



Figur 26 Översikt av utlopp till Mölndalsån, Gullbergsån, Fattighusån och Rosenlundsåkanalen i MIKE Urban-modellen. Dessa utlopp kopplas till MIKE 11-modellen i den sammansatta modellen.

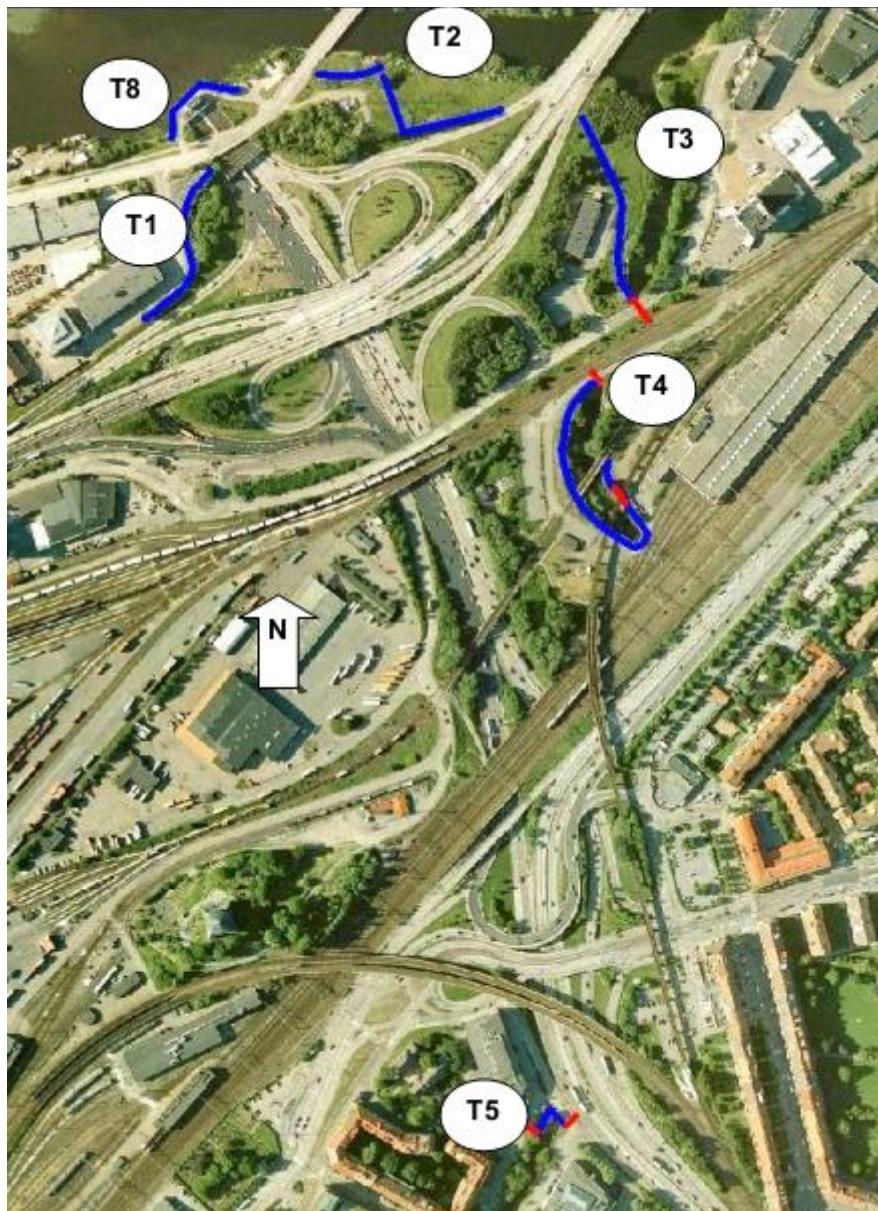
6.7 Uppdateringar i modellen

6.7.1 Skyddsbarriärer för infrastruktur

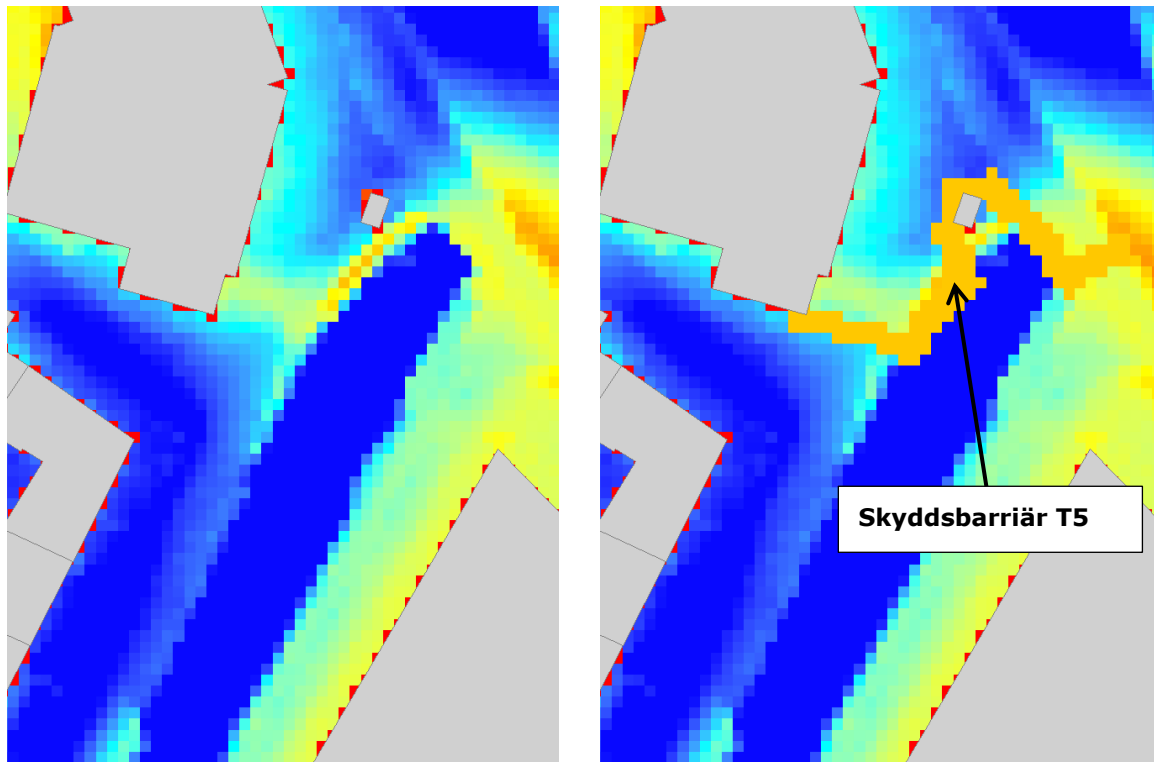
Det finns existerande skyddsbarriärer för Götatunneln och Tingstadstunneln. För funktionen av dessa barriärer är det väldigt viktigt att barriärens höjd är korrekt beskriven i översvämningsmodellen i MIKE 21. Eftersom en lägre upplösning används i MIKE 21 modellen var det nödvändigt att manuellt säkra att skyddsbarriärerna var korrekt beskrivna i MIKE 21 modellen.

För Götatunnelns och Tingstadstunnelns skyddsbarriärer har information hämtats ur Trafikverkets rapport "Instruktioner - Åtgärder vid högt vatten och hård vind". I rapporten beskrivs olika beredskapslägen och vilka barriärer som är permanenta respektive mobila barriärer.

Skyddsbarriärerna T1, T2, T8 för Tingstadstunneln beskrevs redan i Mike 21 modellen, se figur 27. Skyddsbarriärerna T3 och T4 finns utanför området som ryms inom modellområde C. Skyddsbarriär T5 var inte beskriven i Mike 21 modellen och har därför arbetats in i Mike 21 modellen, se figur 28.

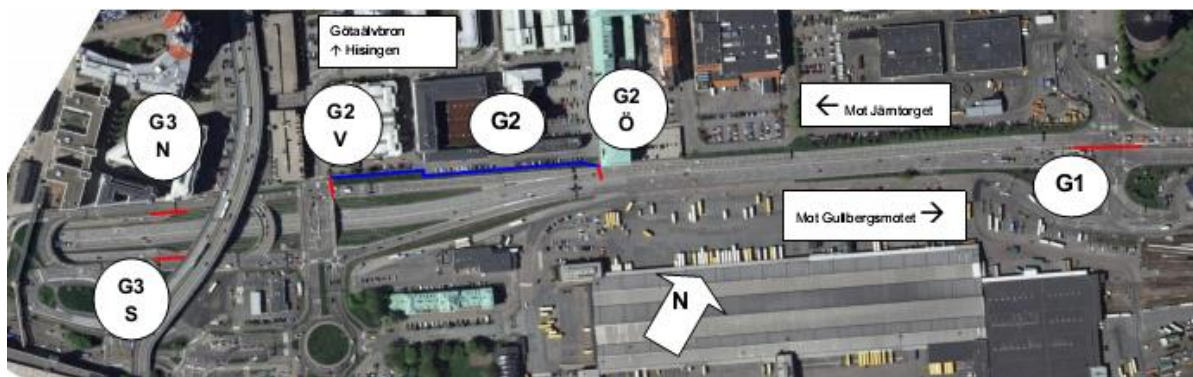


Figur 27 Permanenta och mobila skyddsbarriärer för den södra infarten till Tingstadstunneln i Göteborg. De blå skyddsbarriärerna är permanenta och de röda är mobila. Bild: Trafikverket.



Figur 28 Mike 21 modellen före och efter ändring av skyddsbarriär T5 i Norra Ågata och Gullbergsgata. De grå polygonerna är byggnader. Blå färg indikerar låg terräng och röd färg indikerar hög terräng.

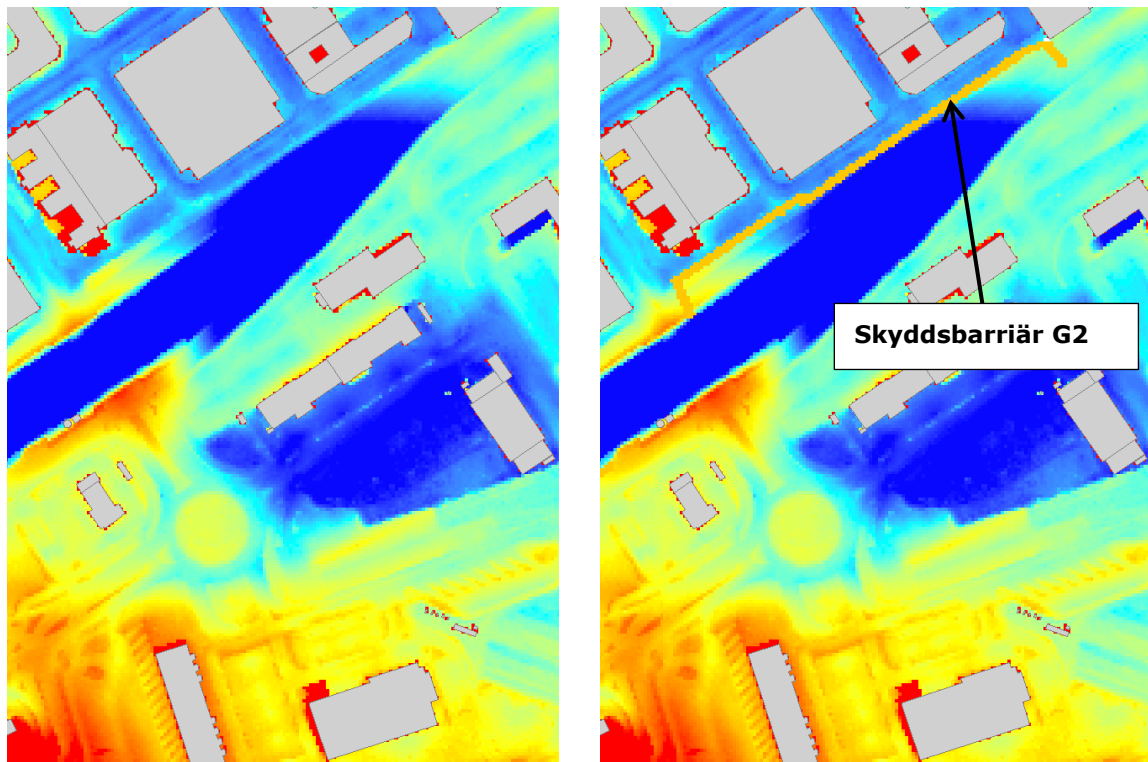
Den permanenta skyddsbarriären G2 var inte beskriven i Mike 21 modellen, eftersom den är så smal, se figur 29, figur 30 och figur 31. Denna skyddar rampen ner till Götatunneln, genom att hindra vatten från att komma ut på Mårten Krakowgatan. Skyddsbarriärerna G2 V och G2 Ö är mobila barriärer som sätts upp över Mårten Krakowgatans norra vägbana. Barriärerna har beskrivits i Mike 21 modellen.



Figur 29 Permanenta och mobila skyddsbarriärer för den östra infarten till Götatunneln i Göteborg. De blå skyddsbarriärerna är permanenta och de röda är mobila. Bild: Trafikverket.

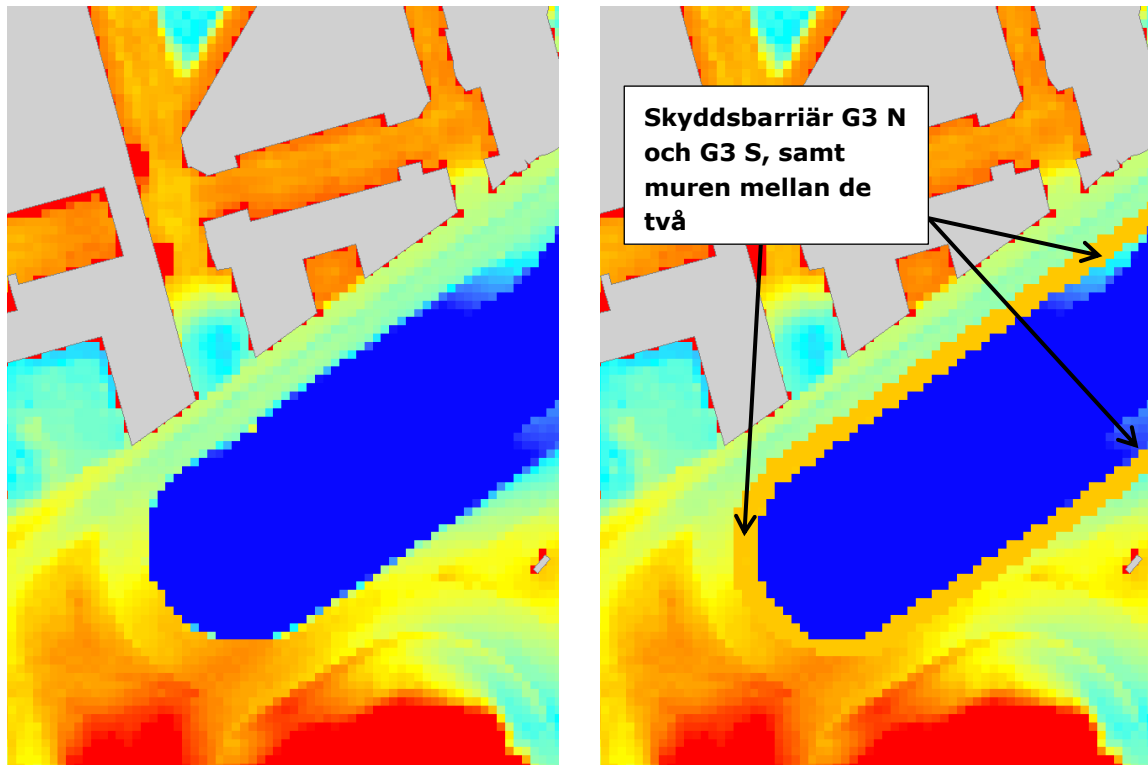


Figur 30 Den permanenta skyddsbarriären G2 för den östra infarten till Götatunneln i Göteborg. Bild: Trafikverket.



Figur 31 Mike 21 modellen före och efter ändring av skyddsbarriär G2 längs Norra Ågatan och Gullbergsgata. De grå polygonerna är byggnader. Blå färg indikerar låg terräng och röd färg indikerar hög terräng.

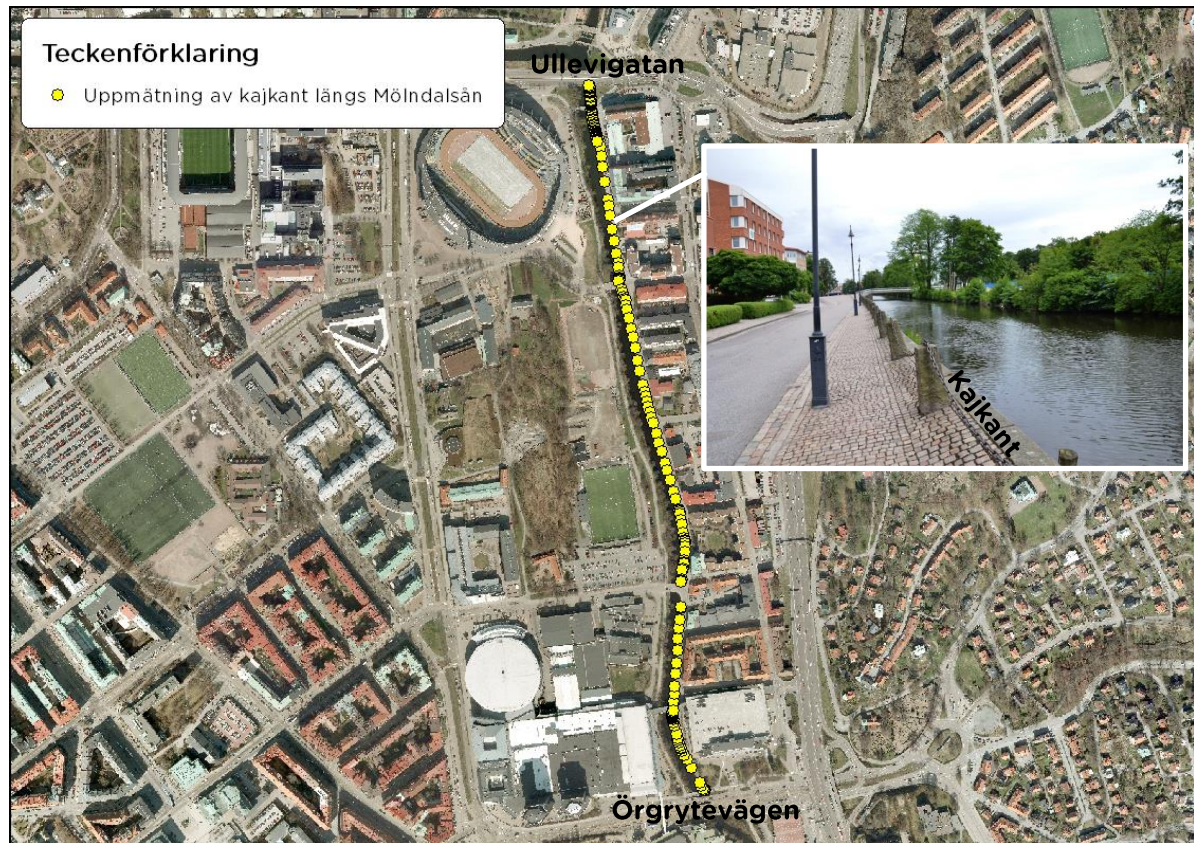
De mobila skyddsbarriärerna G3 N och G3 S lades in i MIKE 21 modellen. Muren mellan dessa barriärer runt kanten av Götatunneln, som faktiskt agerar som skyddsbarriärer även om de inte är inritade i figur 29, lades även den in i Mike 21 modellen, se figur 29 och figur 32.



Figur 32 Mike 21 modellen före och efter ändring av skyddsbarriär G3 N och G3 S runt Götatunneln. De grå polygonerna är byggnader. Blå färg indikerar låg terräng och röd färg indikerar hög terräng.

6.7.2 Kajkant längs Mölndalsån

Åvägen längs Mölndalsåns östra sida ligger i stort sett i samma höjd som vattennivån i Mölndalsån. Det enda som hindrar vattnet från att översvämma vägen är en förhöjd kajkant. Om vattennivån i Mölndalsån stiger ca 1 m kommer Åvägen att översvämmas. Då översvämningsmodellen har en upplösning i plan på 4 m finns en risk att den smala kajkanten inte är korrekt projicerad i översvämningsmodellen. Stadsbyggnadskontoret i Göteborgs Stad har mätt upp kajkanten mellan Örgrytevägen och Ullevigatan, se figur 33. Med hjälp av denna uppmätning har översvämningsmodellen uppdaterats för att säkra att kajkanten är korrekt projicerad. Detta betyder att vattennivån i Mölndalsån måste stiga ca 1 m innan Åvägen översvämmas.



Figur 33 Översikt av uppmätningen av vallen längs Mölndalsåns östra sida mellan Örgrytevägen och Ullevigatan.

6.7.3 Övriga kommentarer

Resultaten från testsimuleringar visade att det kommer ner väldigt mycket vatten i avloppssystemet längs Mölndalsån via spillvatten och kombinerade brunnar. Flödesdata saknas för att kunna validera om modellen visar rätt inflöde i avloppssystemet vid extrema regnhändelser, men resultaten tyder på att modellen övervärderar inflödet genom spillvattenbrunnar och kombinerade brunnar. Modellen har därför gått igenom och kopplingen mellan MIKE Urban modellen och MIKE 21 modellen har tagits bort för de ledningar som inte hade någon ansluten rännstensbrunn. Efterföljande simuleringar visade att inflödet i avloppssystemet minskade, men det finns fortfarande ett stort inflöde på grund av att flera rännstensbrunnar är kopplade till avloppssystemet längs Mölndalsån. Det maximala flödet från MIKE 21 modellen och ner till avloppssystemet har för spillvattenbrunnar minskats till 50 l/s och 200 l/s för dagvattenbrunnar och kombinerade brunnar.

Vid testsimuleringar observerades även en stor mängd vatten som genererades automatisk i MIKE Urban modellen. Orsaken till felet har anmälts till DHI och de har vid nuvarande tidpunkt inte kunnat ge en komplett lösning på problemet. Istället har de gett råd till hur felet kan reduceras till ett minimum. Lösningen bygger på att ett litet flöde tillförs MIKE Urban modellen i de brunnar och ledningar som genererar den största mängden av det automatisk genererade vattnet i modellen. I 53 brunnar fördelat på olika områden i MIKE Urban modellen har ett tillskottsflöde på 1 l/s lagts till för att förhindra att MIKE Urban modellen själv genererar vatten i en storleksordning som var många gånger större i de tidigare simuleringarna. En selection fil som heter Stabilitets_flöde.mus ska följa med modellen och denna beskriver vilka brunnar som ska tillföras detta extra flöde för att stabilisera modellen. Om denna selection fil inte följer med är alla brunnar presenterade i tabell 10.

Denna lösning hjälpte inte för ledning AD20358. Lösningen blev istället att förlänga ledningen med 50 m.

Nedstigningsbrunnar

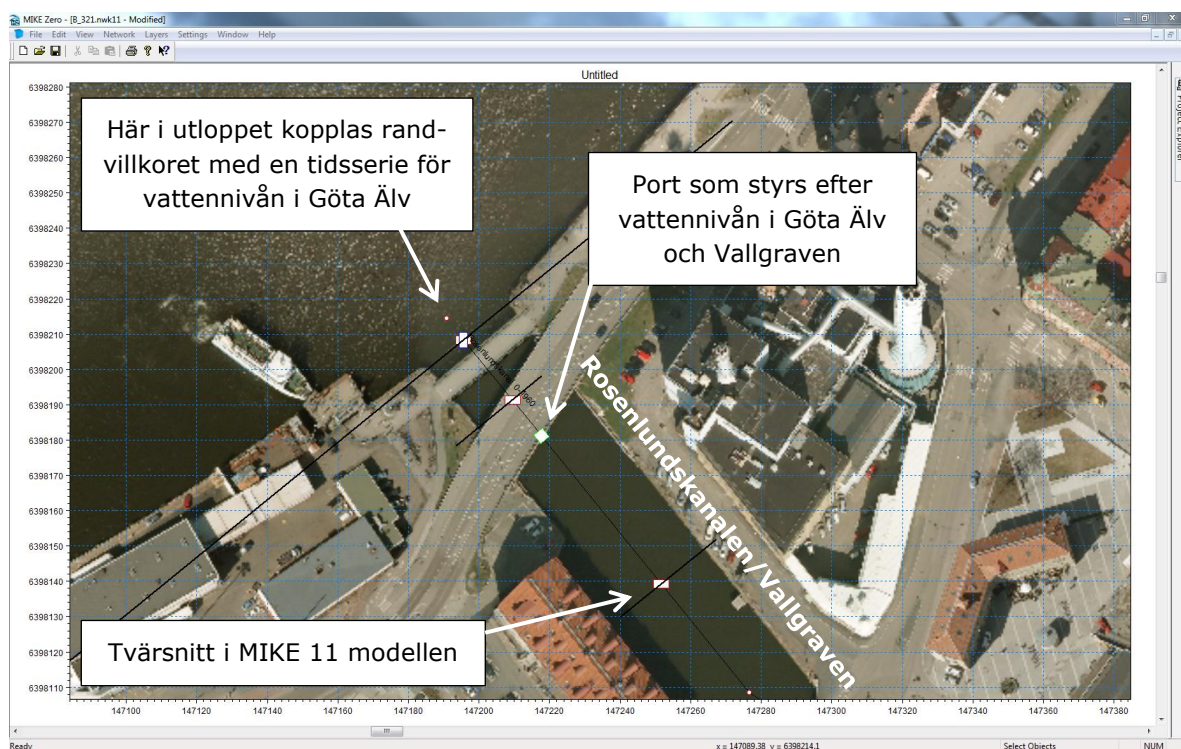
AKN5668	ADN18287	ADN27002	ADN18221	AKN14584	ADRN1374
AKN5675	ADN18289	ADN27003	ADIN19491	Node_2681	ADIN17972
AKN5782	ADN18290	ADN27004	ASIN16920	Node_2682	ADIN17974
AKN5817	ADN18291	ADN27005	ASN16922	Node_1946	
AKN5606	ADN18292	ADN27006	ASN16957	ADN18117	
AKN5672	ADN18296	ADIN27773	ASN16919	ADN18116	
AKN5680	ADN18297	ADN18211	ASN16921	ADIN17966	
AKN5666	ADN18357	ADN18222	ASIN16923	ADIN17969	
Node_2700	ADN18364	ADN18293	AKIN14701	ADIN17970	
ADN18285	ADN27001	ADN18295	AKN5609	ADIN17971	

Tabell 10 Sammanställning av de brunnar som måste tillföras ett extraflöde på 1 l/s för att stabilisera modellen.

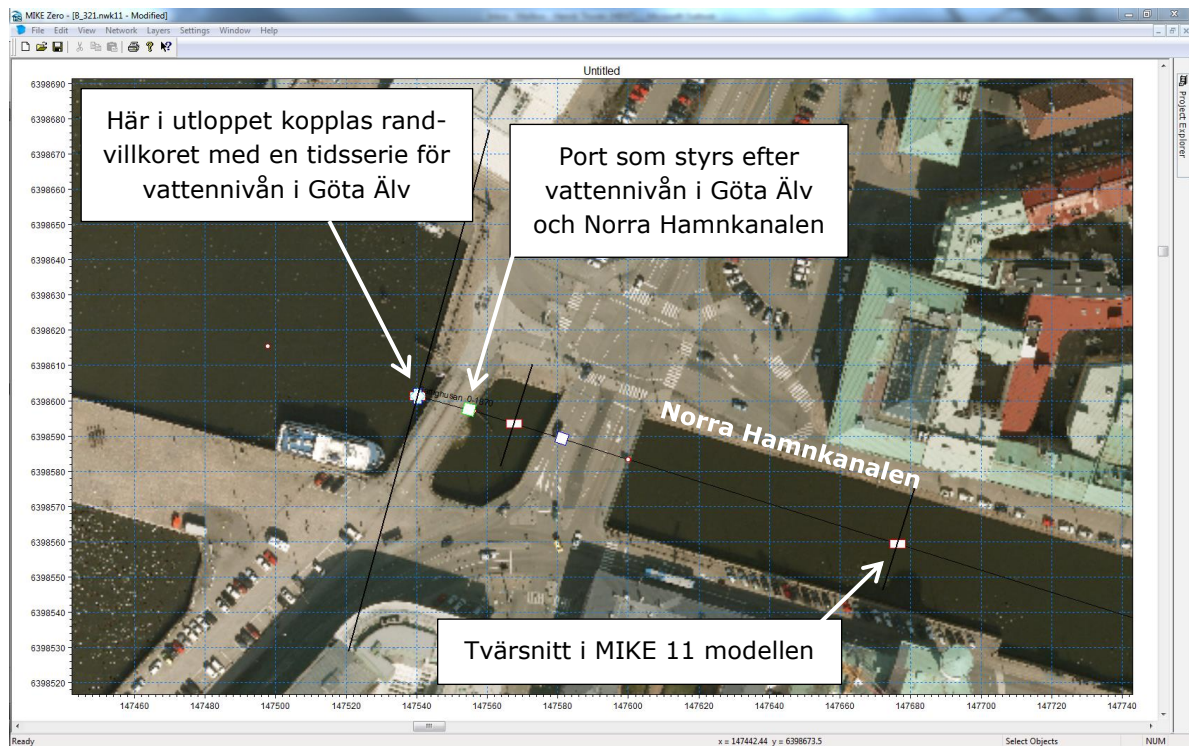
6.8 Portar och skyddsvallar

I projektet Hydromodell för Göteborg var en del av syftet med modellen att kunna simulera olika lösningsförslag för att minska risken för översvämning. Ett av förslagen var att etablera skyddsvallar längs Göta Älv och anlägga portar för vattendragen som har utlopp till Göta Älv. Det åtgärdsförslag som föreslår anläggande av en skyddsvallar och portar för att skydda de lågt liggande områdena längs Göta Älv i Göteborgs Stad kallades i projektet för Älvskydd eller Åtgärdsförslag 2. En mer detaljerad beskrivning om var vallarna och portarna är placerade är presenterat i kartbilaga 1320001782-08-29.

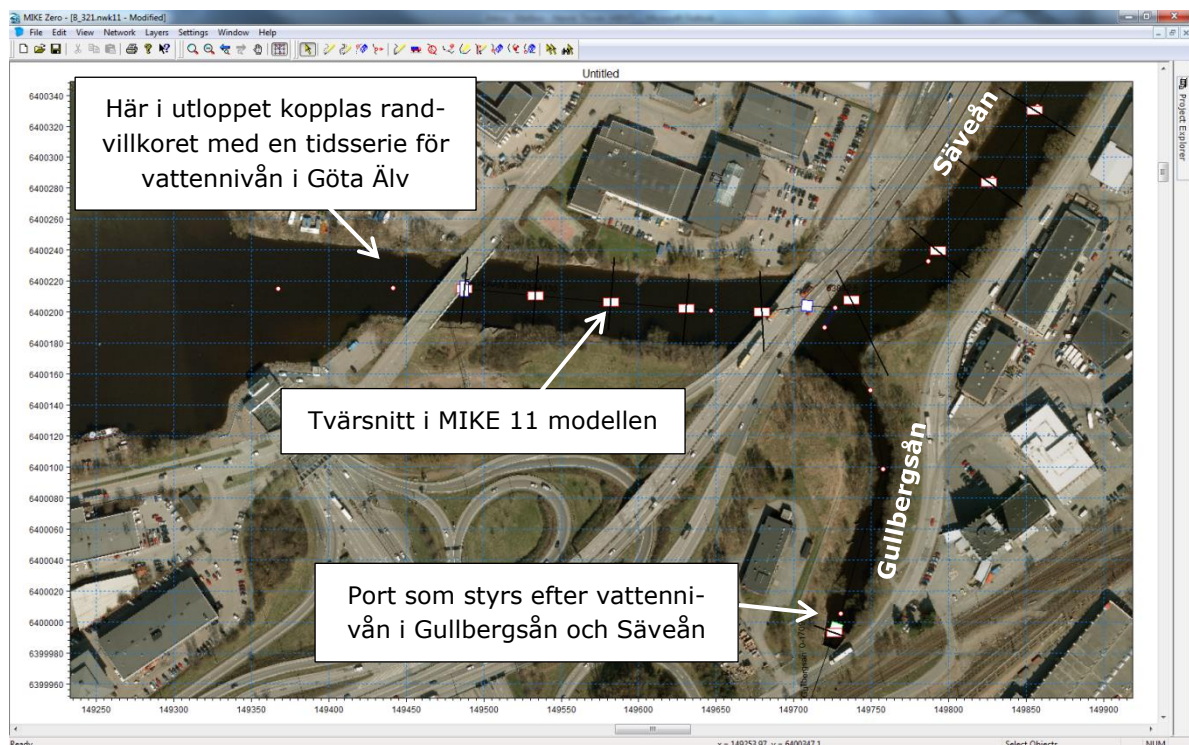
Skyddsvallarna har byggts in i översvämningssmodellen i MIKE 21 genom att cellerna där skyddsvallarna är placerade har höjts till +4 m RH2000. Detta gäller även de mobila skyddsvallar som ingår i lösningsförslaget för att kunna stänga av vägar vid högvatten. Översvämningssmodellen är anpassad för åtgärdsförslaget i modellerna som kallas för B_300 eller högre, 311, 312 osv. Portarna beskrevs i vattendragsmodellen i MIKE 11. Dessa är inställda på att stänga om vattennivån i Göta Älv överstiga +1,3 m RH2000. Om vattennivån är högre uppströms porten, öppnas den delvis för att jämna ut vattennivån uppströms och nedströms porten. När vattennivån är utjämnad stängs porten igen. Om vattennivån är högre nedströms porten hålls porten helt stängd.



Figur 34 Översikt av porten och randvillkoret i Vallgravens utlopp till Göta Älv.



Figur 35 Översikt av porten och randvillkoret i Norra Hamnkanalens utlopp till Göta Älv.



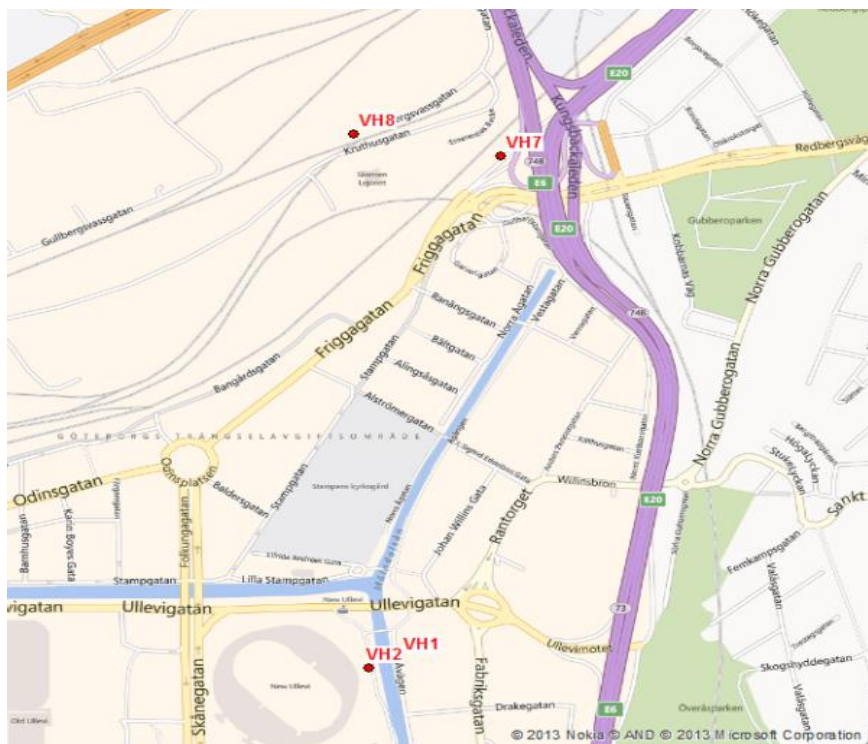
Figur 36 Översikt av porten i Gullbergsån och randvillkoret i Sävååns utlopp till Göta Älv.

Åtgärdsförslaget ska betraktas utgöra ett översiktligt principförslag som anpassats efter nuvarande förhållanden men som kan förväntas få annan utbredning i detalj då området i stora delar är under utveckling. Syftet med åtgärdsförslaget var att möjliggöra utvärdering av för och nackdelar med olika typer av principlösningar till översvämningsskydd.

7. KALIBRERING

Avrinningsområdena i MIKE Urban modellen längs Mölndalsån har kalibrerats mot tidigare flödesmätningar. Mät punkt VH1, VH2 och VH7 har valts som kalibreringspunkter, eftersom de är beskrivna i MIKE Urban modellen längs Mölndalsån och Gullbergsån, se figur 37. Liksom tidigare har ett konstant flöde lagts till, uppströms mät punkt VH1 och VH2, för att kompensera för det basflöde som har uppmätts.

Pumpkapaciteten i Kodammarna har minskats, för att ta hänsyn till flödet från VH8, eftersom Gullbergsvassområdet i delar av Område C inte är beskrivet i MIKE Urban modellen för Område B. Flödet vid VH8 är ungefär 400 l/s vid ett CDS 100 års regn och därför har pumpkapaciteten i Kodammarna sänkts från 3 m³/s till 2,6 m³/s.



Figur 37 Översikt av flödesmät punkter från utförda flödesmätningar under sommaren 2013

Eftersom det i flödesmätningarna konstaterats en avskuren flödestopp, har kalibreringen inte kunnat utföras med ett resultat inom 10 % felmarginal för både peak och volym. Genom att sänka andelen hårdgjorda ytor har felet i peak värdet kunnat minskas till att vara i stor sett inom en felmarginal på 10 %. Volymavvikelsen har inte kunnat minskas mer, eftersom formen av den uppmätta och simulerade flödeskurvan då avviker allt för mycket.

Avvikelsen före och efter kalibreringen presenteras i tabell 11.

Mät punkt	Okalibrerad modell		Kalibrerad modell	
	Peak	Volym	Peak	Volym
VH1	6 %	29 %	-5 %	19 %
VH2	29 %	52 %	11 %	42 %
VH7	7 %	37 %	-3 %	27 %

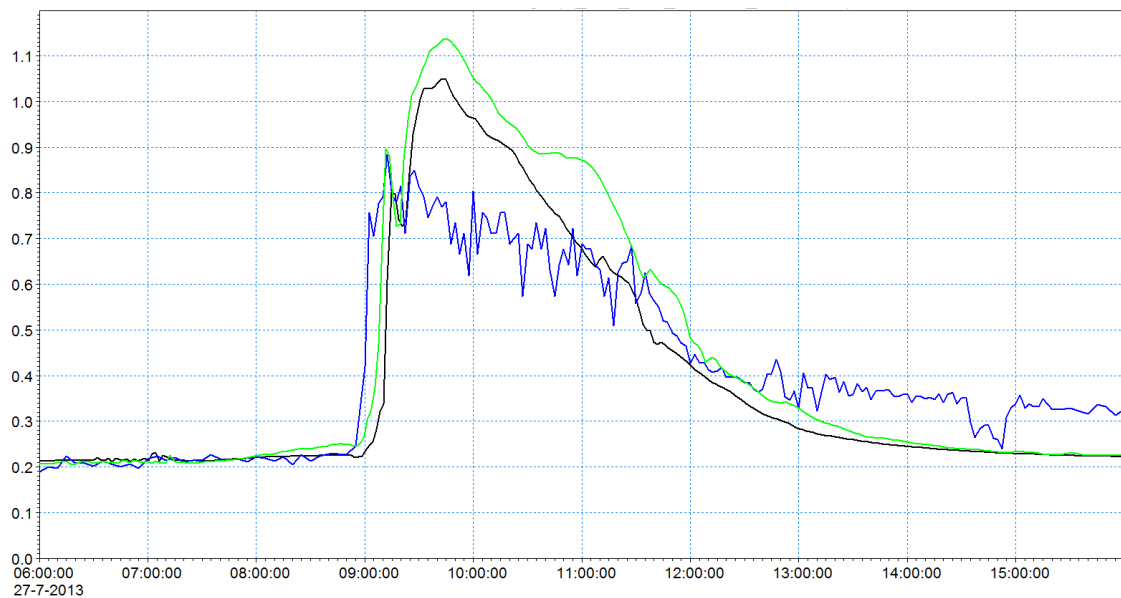
Tabell 11 Kalibreringsresultat för regnhändelsen den 27:e juli 2013 mellan kl. 6 och 16

Avrinningsområdets totala yta, reducerade yta och andel reducerad yta före och efter kalibrering presenteras i tabell 12.

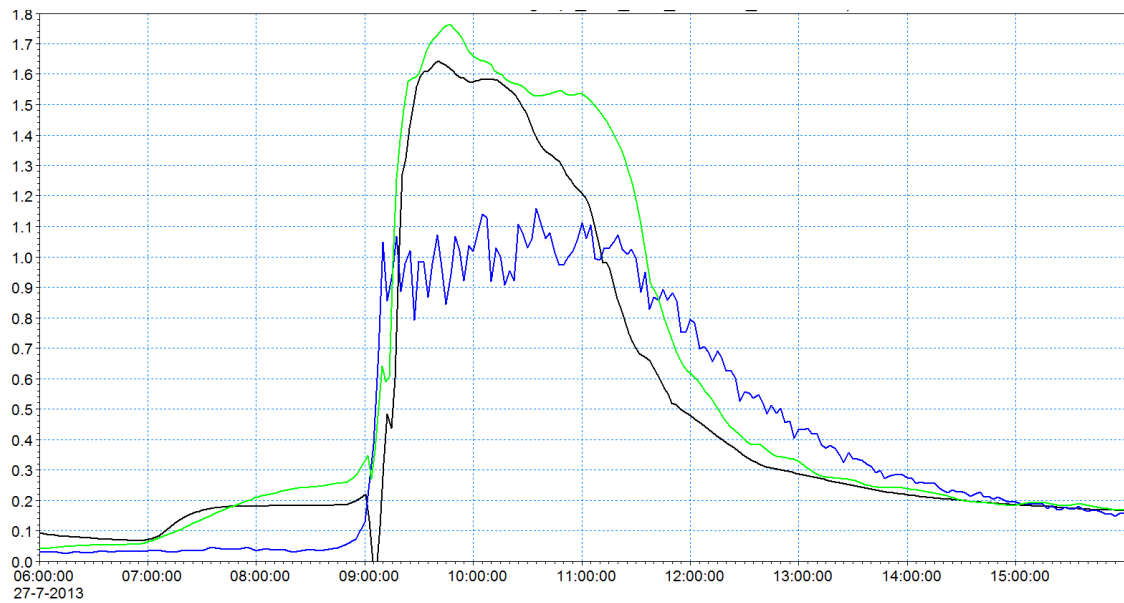
Avrinningsområdena för dagvatten har inte kalibrerats, eftersom det inte har utförts några flödesmätningar av dessa avrinningsområden. Andelen hårdgjorda ytor har istället minskats med 35 %, eftersom detta är ett medelvärde av 44 och 25 %.

Mätpunkt	Okalibrerad modell			Kalibrerad modell				Skillnad i red. yta
	Yta (ha)	Red. Yta (ha)	Andel red. yta	Yta (ha)	Red. Yta (ha)	Andel red. yta	Konstant flöde	
VH1	255,1	114,3	45 %	255,1	64	25 %	210 l/s	-44 %
VH2	79,1	25,6	32 %	79,1	19,1	24 %	40 l/s	-25 %
VH7	109,3	52,3	48 %	109,3	52,3	48 %	-	0 %

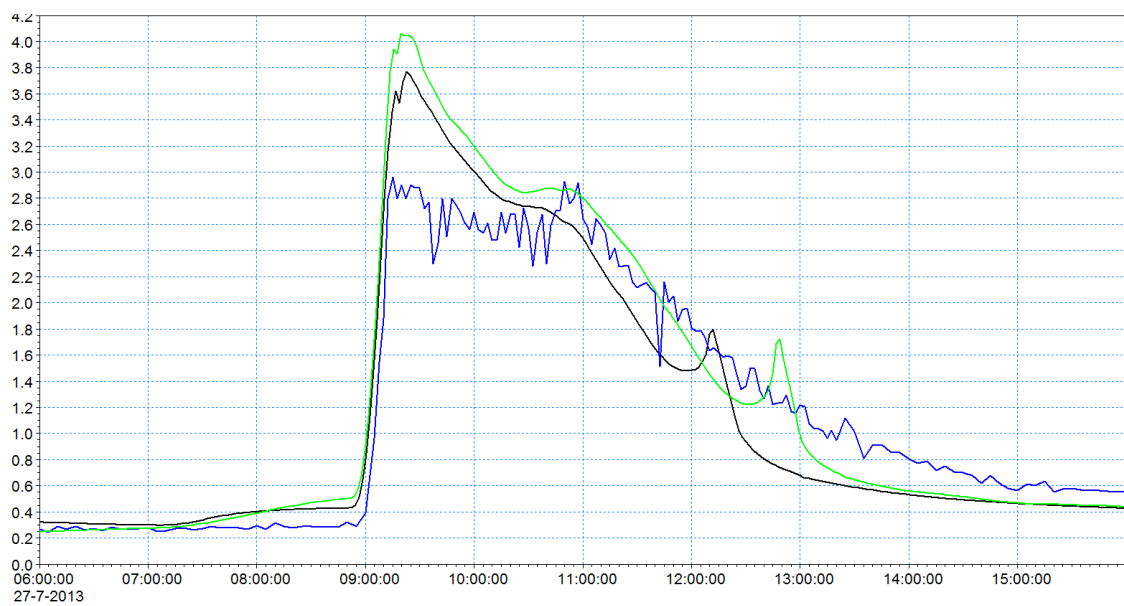
Tabell 12 Avrinningsområdets totala yta, reducerade yta och andel reducerad yta före och efter kalibrering



Figur 38 Uppmätt flöde (blå linje) och simulerat flöde före (grön linje) och efter (svart linje) kalibrering av VH1



Figur 39 Uppmätt flöde (blå linje) och simulerat flöde före (grön linje) och efter (svart linje) kalibrering av VH2



Figur 40 Uppmätt flöde (blå linje) och simulerat flöde före (grön linje) och efter (svart linje) kalibrering av VH7

8. GENOMFÖRDA SIMULERINGAR

I projektet Hydromodell för Göteborg har flera simuleringar genomförts med modellen. Som tidigare nämnt var modellen inledningsvis uppdelad för Mölndalsån och Säveån. Senare i projektet sattes dessa två modeller ihop till en modell. Modellen heter B_100 för Mölndalsån och B_200 för Säveån, se tabell 13. Den sammansatta modellen har namn som börjar på B_3 följt av modell och revisionsnummer t.ex. B_321.

Samtliga genomförda simuleringar motsvarar tänkbara väderscenarier hösten år 2100, då havet antas kunna stiga till en extrem nivå på +2,55 m RH2000 och sedan sjunka undan igen med peak på 26 respektive 10 timmar. Detta motsvarar en återkomsttid på 200 år. Simuleringarna genomförs både för medel- och högflöde i tillrinnande åar.

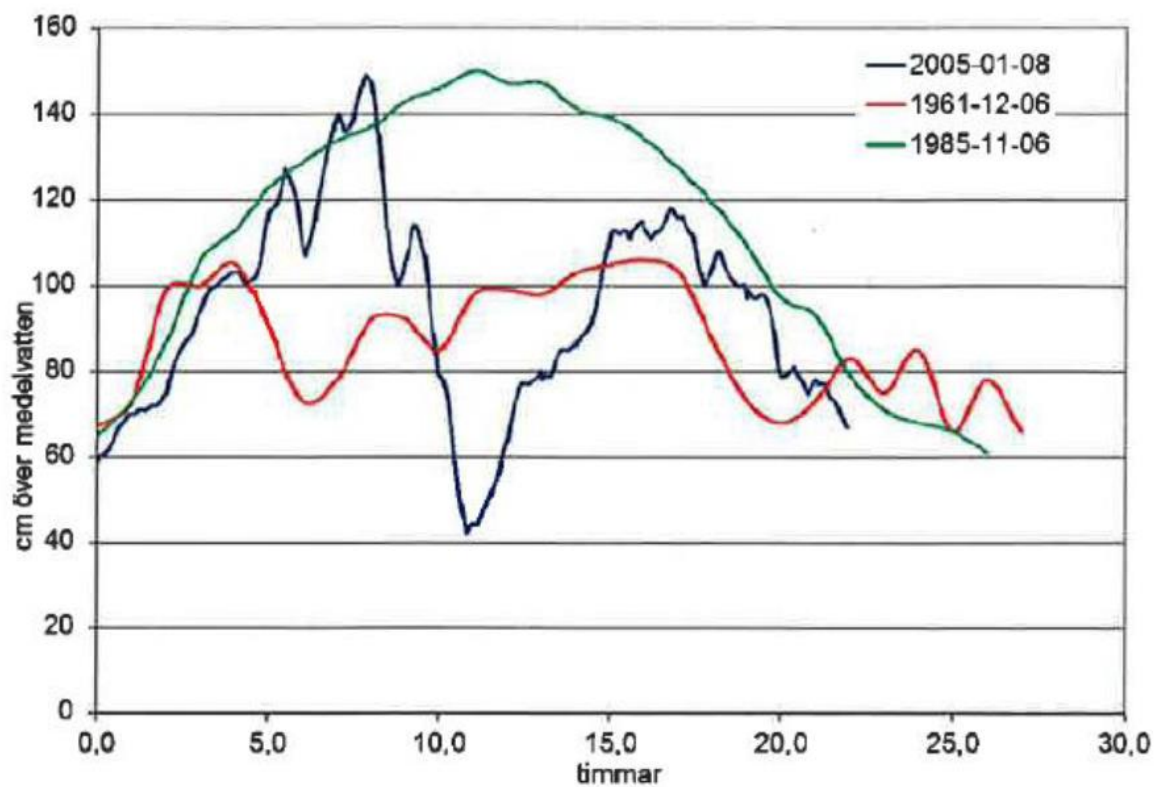
Åtgärdsförslaget med älvskydd har kallats åtgärdsförslag 2 med förkortning Å2.

Kart bilaga	Scenario	Modell	Åtgärds förslag	Peak	Flöde	Kommentar
21	B_100_HQ2100PEAK	B_100	-	26 t	Hög	Mölndalsån
22	B_200_HQ2100PEAK	B_200	-	26 t	Hög	Säveån
51	B_Å2_MQ2100_26t_S	B_321	Å2	26 t	Medel	Mölndalsån och Säveån
52	B_Å2_HQ2100_26t_S	B_322	Å2	26 t	Hög	Mölndalsån och Säveån
53	B_Å2_MQ2100_10t_S	B_323	Å2	10 t	Medel	Mölndalsån och Säveån
54	B_Å2_HQ2100_10t_S	B_324	Å2	10 t	Hög	Mölndalsån och Säveån

Tabell 13 Översikt av simuleringar som är genomförda för åtgärdsförslag 2.

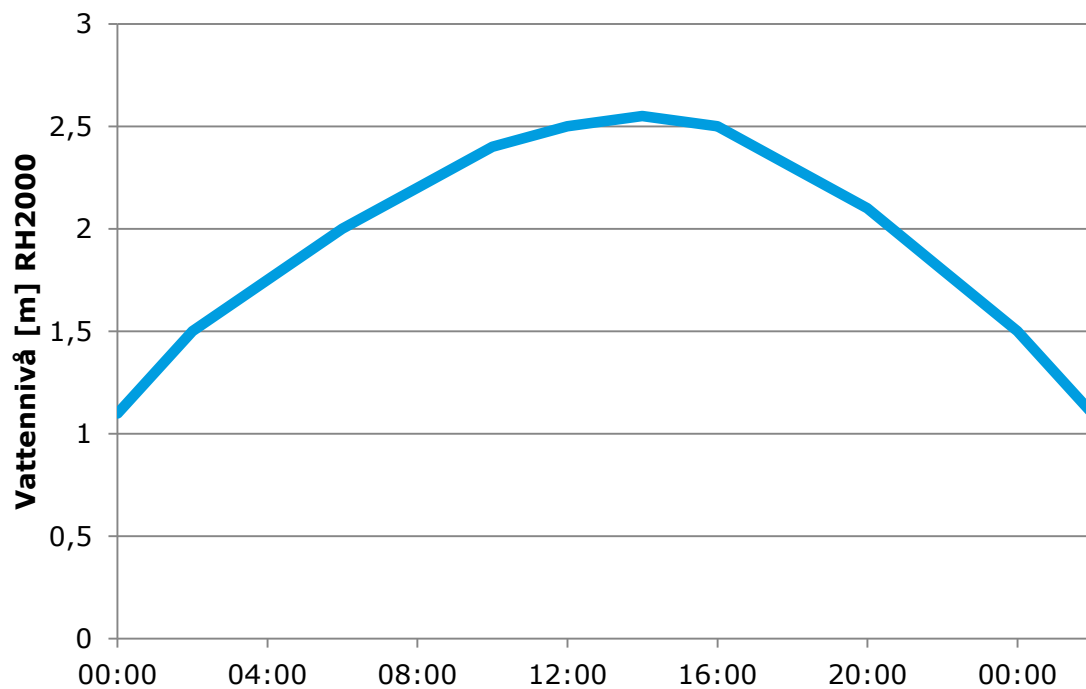
Vattennivån i havet varierar under simuleringen och den hänvisas härnäst som "havsnivå-peak". Den simulerade havsnivåpeaken representerar en högvattensituation i form av en 200 års nivå år 2100 utifrån förväntad klimatutveckling. Förloppet baseras på en verklig högvattensituation som inträffade den 6:e november 1985 vid Torshamnen, se figur 41. 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 havsnivåstigningen till år 2100 på 70 cm plus kompensation för att normalvattenståndet vid Rosenlund/Eriksberg ligger ca +0,15 m över nivån vid Torshamnen. Den maximala nivån i den modifierade peaken baseras på SMHI:s uppskattningar för vattenståndets 200 års värde år 2100 vilket motsvarar +2,55 m.

För att studera effekter av högvattenperiodens längd har simuleringar genomförts med två olika längd på havsnivåpeaken, den långa peaken varar i 26 timmar, se figur 42, och den korta i 10 timmar. Den kortare peaken på 10 timmar motsvarar varaktigheten av den första delen av en högvattensituation likt den som inträffade den 8:e januari 2005, se figur 41. Den långa peaken motsvarar högvattensituationen som inträffade den 6 november 1985.



Figur 41 Uppmätt havsvattenstånd i Torshamnen vid tre olika tillfällen. (Klimatanalys för Västra Götalands län, SMHI 2011)

Vattennivå - Rosenlund - 26 timmar



Figur 42 Den modifierade tidsserien för havsnivåpeak enligt kurva från 1985-11-06 som 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 14. Dessa randvillkor är framtagna baserade på SMHI:s uppskattning av flöden i älven och åarna.

SMHI's klimatanalys¹ för Västra Götaland visar i figur 5.4-5 och 5.4-6 att medelflödet för både Mölndalsån och Sävån är oförändrat år 2100. Figurerna visar dock att medelvattenföringen år 2100 vintertid 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 samma förändring för medelvattenföringen vintertid, eftersom ett tvåårs flöde inte är att betrakta som extremt. Flödestatistik 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 för Sävån år 2100 med en 30 % ökning.

För de avrinningsområden som är definierade i MIKE Urbanmodellen används en konstant regnintensitet på 65 mm/dygn, vilket motsvarar ett 10 års regn fördelat på ett dygn.

Flöde	Vattendrag	Beteckning	Värde
Medel	Mölndalsån	MQ2100	4,2 m ³ /s
Medel	Sävån	MQ2100	20,9 m ³ /s
Medel	Göta Älv	MQ2100	190 m ³ /s
Hög	Mölndalsån	HQ2100	26 m ³ /s
Hög	Sävån	HQ2100	70 m ³ /s
Hög	Göta Älv	HQ2100	285 m ³ /s

Tabell 14 Översikt av flöde i åarna/älven som används vid simulering.

I varje kartbilaga finns olika kombinationer av symboler som beskriver olika förutsättningar i den genomförda simuleringen. Nedan finns exempel på symboler och vad de olika symbolerna innebär.



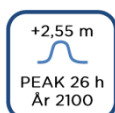
Översvämningresultatet från modellområde B



Åtgärdsförslag 1 är implementerat i MIKE 21-modellen. Dvs. att skyddsvallarna är implementerade i MIKE 21-modellen enligt förslag. Detta kan även vara satt till Å2 när Åtgärdsförslag 2 är implementerat.



Flödet i Mölndalsån är satt till dess medelflöde på 4,2 m³/s. Motsvarande anges även för Sävån



Peaken i Eriksberg når upp till +2,55 m RH2000 och har en varaktighet på 26 timmar. Detta motsvarar en extrem nivå år 2100.

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

9. MODELLOSÄKERHETER

Vid simulering i MIKE Urban finns det flera modellosäkerheter som är nödvändiga att känna till. En stor osäkerheten är den andel hårdgjorda ytor som antas för varje avrinningsområde. Andelen definieras som andelen av hus, vägar, parkeringsplatser och andra hårdgjorda ytor. Problem uppstår om icke hårdgjorda ytor börjar bidra till avrinningen, detta sker normalt om marken är mättad av vatten och om regnet är väldigt intensivt så vattnet inte hinner infiltrera. Modellen för Område C har kalibrerats efter en uppmätt regnhändelse med 20 års återkomsttid, eftersom modellen primärt kommer att användas till att simulera scenarier med en hög återkomsttid. Det kan betyda att andelen hårdgjorda ytor är för stora om simulering ska genomföras för regn med kortare återkomsttid. Om syften med simuleringen är att beskriva regnhändelser med kortare återkomsttid rekommenderas att modellen kalibreras om med denna typ av regn.

I modellen antas att allt regnvatten kan komma ner i avloppssystemet så länge flödet understiger 500 l/s per nedstigningsbrunn. I verkligheten är denna kapacitet en kombination av rännstensbrunnarnas kapacitet och hur mycket vatten som kommer in via serviceledningar till huvudledningarna. Rännstensbrunnarnas kapacitet varierar eftersom de kan sättas igen av löv och annat avfall på vägarna som transporteras med vattnet. Även kapaciteten i servisleddningarna kan variera beroende på underhåll. Om kapaciteten för att transportera vattnet ner i avloppssystemet begränsas av några av dessa faktorer kommer mer vatten istället att stanna ovan mark och skapa översvämning lokalt. Den metod som använts vid simulering påvisar primärt större översvämningar i lågpunkter eller i hydrauliskt överbelastade punkter dit vattnet transporteras via avloppssystemet. Lokalt kan detta innebära att modellen inte simulerar mindre översvämningar som skapas på grund av avloppssystemets begränsade kapacitet, vilken gör att allt vatten inte kan ledas bort.

De parametrar som normalt mäts för att kalibrera en MIKE Urban modell är regn samt vattennivå och hastighet i avloppssystemet. Vattennivå och hastighet kan sedan räknas om till ett flöde om avloppsledningens diameter är känd. Mätningen sker i en eller flera punkter för att även kunna kartlägga lokala sommarregn som ibland kan komma mycket lokalt och bara vara några hundra meter bredda. Dock är regnmätningen fortfarande en punktmätning och risken är att regnet som används i modellen blir under- eller övervärderat. Lokala sommarregn mäts upp och blir applicerade över ett större område än vad det faktiska regnet faktisk föll över. Detta ger upphov till ett större simulerat än uppmätt flöde. Det omvända kan ske om regnet faller mellan regnmätarna.

Till osäkerheten av regnmätningen kommer även osäkerhet vid flödesmätning. Det svåra i en flödesmätning är att mäta korrekt hastighet på vattenflödet i avloppssystemet. Hastighet är svårt att mäta i vatten och friktion längs ledningens sidor gör att hastighetsgradienten varierar över hela ledningens tvärsnitt. Hastighetssensorn riskerar även att täppas till, allra helst i kombinerade ledningar.

Därför är det viktigt att komma ihåg att en kalibrering kan förbättra modellens resultat, men den kan väldigt sällan perfekt beskriva den komplexitet och variation som finns i verkligheten.

Utöver mätfel kan även felkopplingar i avloppssystemet finnas. När ett avrinningsområde har definierats i MIKE Urban måste det kopplas till en nedstigningsbrunn. Detta görs efter bästa förhållande utifrån stickledningar och markyta, men det kan fortfarande finnas fel anslutningar i avloppssystemet. Det är tyvärr inte ovanligt att områden med separerat dagvatten är kopplade till spillvattenledningen, eftersom det för att uppnå rätt fall inte har varit möjligt att ansluta alla tak och vägar till dagvattenledningen. Det kan även helt enkelt vara en felkoppling. Detta gör att även om all tillgänglig information angående ledningarnas anslutning har använts beskriver modellen verkligheten på fel sätt. Dock minskar en kalibrering denna typ av fel, eftersom en kalibrering tar hänsyn till det faktiska flödet i ledningen. Felet finns kvar i de områden som inte har kalibrerats.

Det finns också modellosäkerheter i MIKE 21 modellen. Modellen är uppbyggd utifrån SBKs höjdmodell med upplösningen 0,5 m i plan. MIKE 21modellen har en upplösning på 2 m i plan och i konverteringen mellan dessa två upplösningar interpoleras höjden för varje cell fram utifrån höjden i närliggande celler. Detta gör att höjderna i MIKE 21 modellen inte stämmer helt överens med den ursprungliga höjdmodellen. Det gör även att mindre objekt som kunde beskrivas i en upplösning på 0,5 m i plan helt enkelt försvinner. Viktiga element som skyddsbarriärer för Gö-tatunneln och Tingstadstunneln har återskapats i MIKE 21 modellen. Mindre murar som faktiskt hindrar en vattentransport kan ha blivit lägre vid interpoleringen. Det är därför viktigt att ta detta i beaktande när resultaten av simuleringen utvärderas.

10. REKOMMENDATIONER

För att modellen ska simulera mer rättvisande resultat för Område B bör utveckling av indata till modellen utföras. De viktigaste beskrivs nedan.

Vid Ullevi har de två kombinerade avloppsledningarna kalibrerats efter regnhändelsen den 27 juli 2013. Detta ger en bra övergripande kalibrering av modellen, men det rekommenderas att fler punkter i avloppssystemet kalibreras mot uppmätt nederbörd och flöde. Det rekommenderas också att områden med dagvattenledningar kalibreras, för att modellen ska visa korrekt mängd vatten som rinner till Mölndalsån, Gullbergsån och Fattighusån.

Modellen har simulerats med ett regn med 1 års återkomsttid. Ett 1 års regn bör hela avloppssystemet kunna hantera utan att vattennivån i avloppssystemet däms upp till markytan. Detta är ett enkelt och effektivt sätt att hitta felkopplingar i avloppssystemet. Det rekommenderas dock också att modellen testas för en extremare situation med ett 100 års regn i en MIKE Flood simulering. Ett sådant test kan användas för att identifiera eventuella fel i dimensioner i avloppssystemet. Resultatet av testet bör utvärderas tillsammans med personal från Kretslopp och Vattens organisation med praktisk erfarenhet av avloppssystemets funktion. Personalen kan verifiera eller avfärda områden som simuleras med stor översvämningsrisk. Därmed kan felsökningen i modellen begränsas till mindre områden och det blir därmed lättare att hitta eventuella fel. Det kan inte uteslutas att fel finns i ledningsdatabasen, vilka gör att en okulär besiktning kan bli nödvändig.

Modellen kan inte användas för att simulera kopplingen till avloppssystem i de områden som ligger utanför MIKE Urban modellen. I dessa områden måste en avloppsmodell byggas upp för att simulera detta.

Översvämningsmodellen har en upplösning på 4 m och det är viktigt att känna till att smala objekt som kan stoppa vattnet så att översvämnung förhindras eventuellt inte beskrivs korrekt. Om det är viktigt att få med alla lokala vattenhinder rekommenderas istället att en mindre översvämningsmodell med högre upplösning tas fram, eller att smala vattenhinder läggs in manuellt.

Modellen är kalibrerad baserat på en extrem regnhändelse med 20 års återkomsttid. Detta kan betyda de hårdgjorda ytorna kan vara något överskattade. Om modellen ska användas till att simulera regn med låg återkomsttid rekommenderas att modellen kalibreras om för denna typ av regnhändelser.

11. REFERENSLISTA

IDA Spildevandskomitéen, 2014, *Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter*, Skrift nr 30.

SMHI, 2011, *Klimatanalys för Västra Götaland*, Rapport Nr 2011-45, version 1.1

SMHI, 2014 , Uppdaterad klimatanalys av havsvattenstånd i Västra Götalands Län, Rapport Nr 2011-45, Version 2.0

Svenskt Vatten, 2004, *Dimensionering av allmänna avloppsledningar*, Publikation P90

Trafikverket, 2012, *Instruktioner - Åtgärder vid högt vatten och hård vind*, version 0.9, förhandskopia 2012-10-01

BILAGA 1

KARTBILAGOR

Kartbilagor

Till denna dokumentationsrapport finns kartbilagor som detaljerat beskriver alla avrinningsområden i modellområde B.

1320001782-08-89

1320001782-08-90

1320001782-08-91

Utöver dessa kartbilagor finns även kartbilagor som tillhör olika simuleringsuppdrag från projektet Hydromodell för Göteborg. Dessa presenteras i nedanstående tabell.

Scenario	Kartbilaga
B_100_HQ2100PEAK	1320001782-08-21
B_200_HQ2100PEAK	1320001782-08-22
B_Å2_MQ2100_26t_S	1320001782-08-51
B_Å2_HQ2100_26t_S	1320001782-08-52
B_Å2_MQ2100_10t_S	1320001782-08-53
B_Å2_HQ2100_10t_S	1320001782-08-54

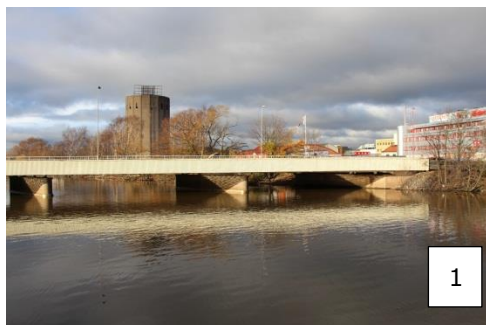
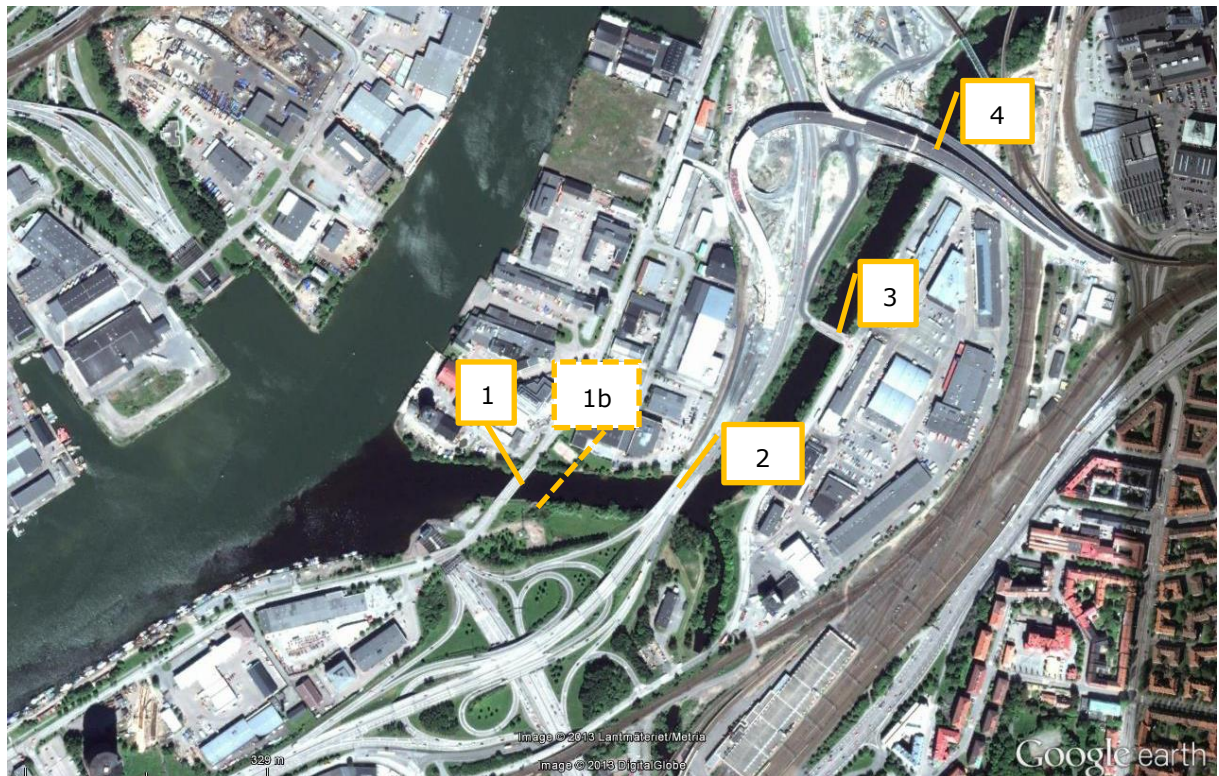
BILAGA 2

INVENTERING AV BROAR ÖVER SÄVÅN

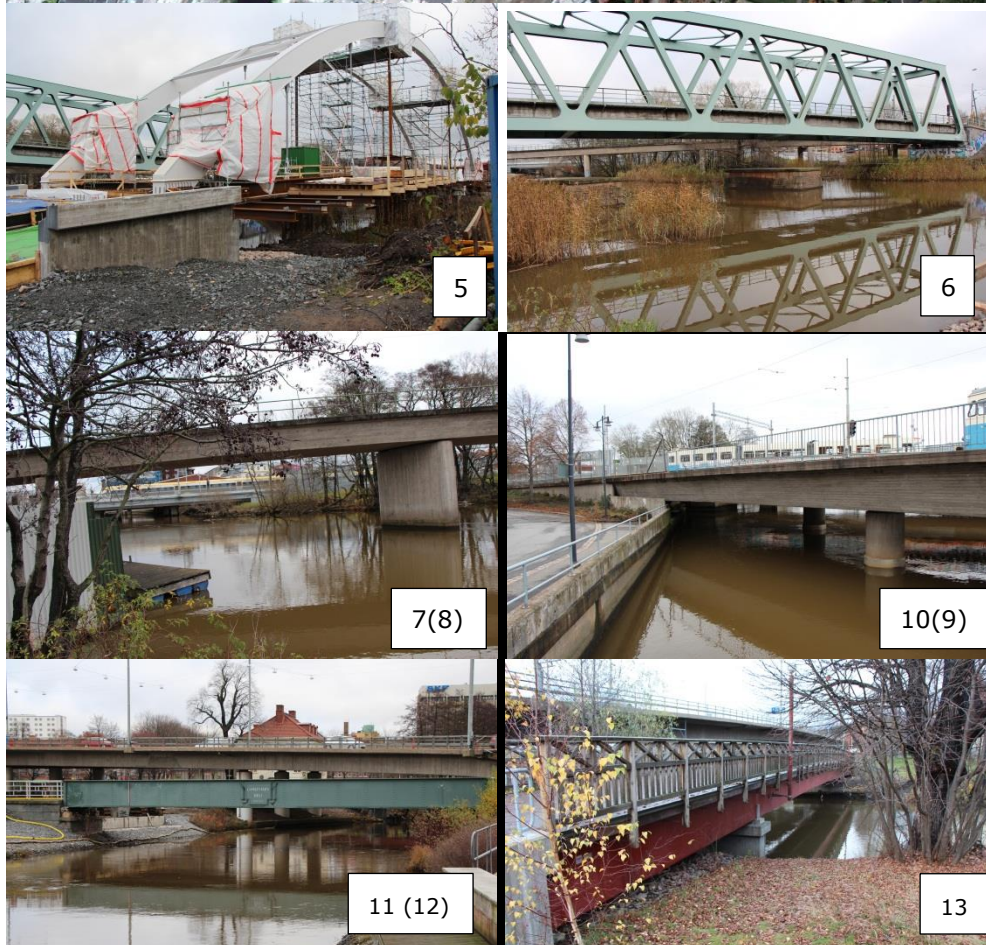
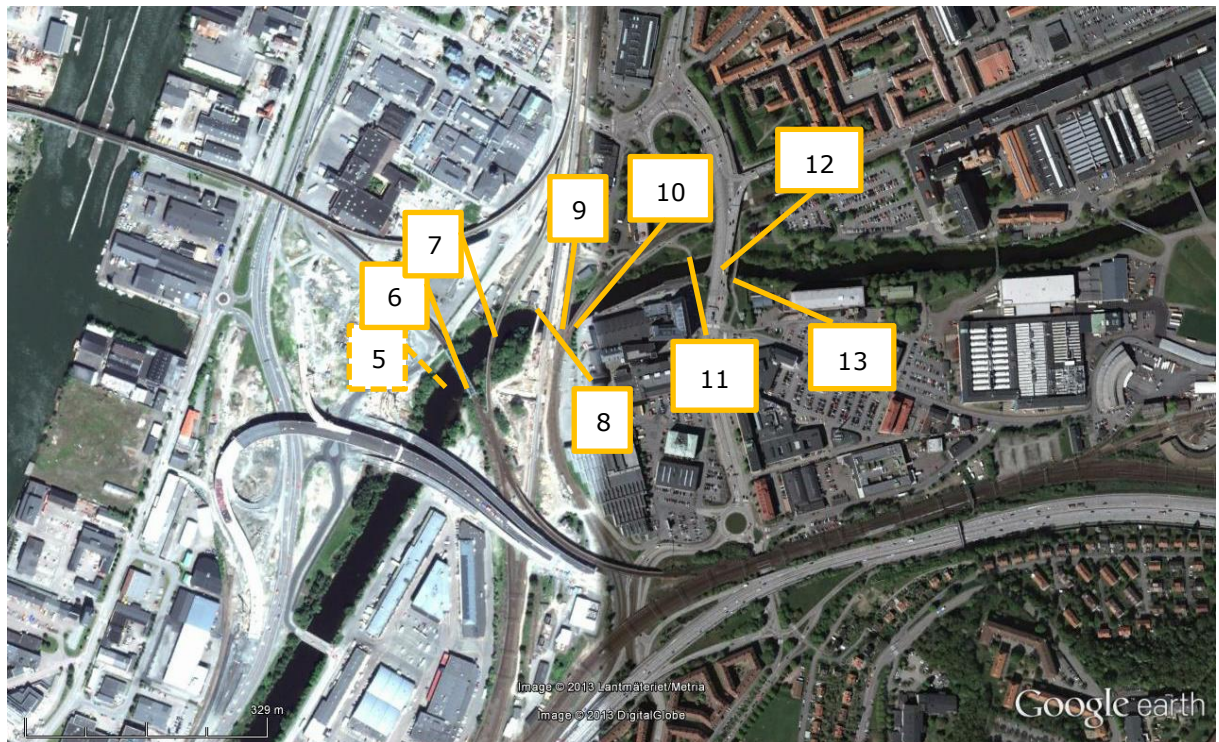
I november 2013 genomförde Ramböll en visuell inventering av broar och andra strukturer längs med Säveån, från mynningen i Göta älv upp till järnvägsbron i höjd med Utby, Österlyckan. Inventerade delsträckor 1-5 med numrering av broar/strukturer visas i Figur 43 - Figur 47.

I januari 2014 samlade Ramböll ihop ritningar för broarna över Säveån från Rambölls broavdelning och ÅF. Insamlade ritningar är presenterade i nedanstående tabell.

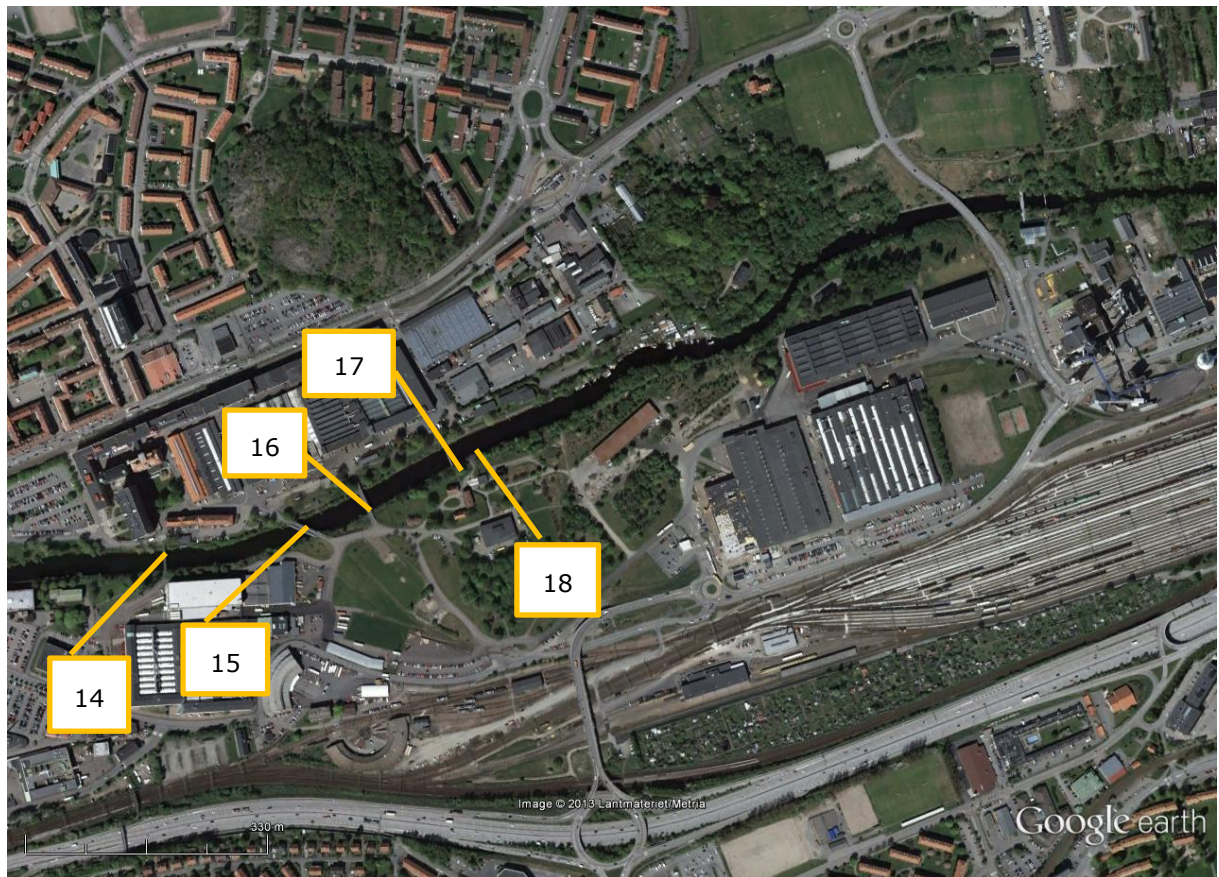
Nr	Ritning	Källa
1	1480-1053-1(nr 1 Bro över Tingstadstunnelns södra tråg, Gullbergs Strandgata - Marieholmsgatan).pdf	ÅF, Infrastruktur AB, Gert Andersson
2	14-657-5Gullbergsmotet nr 2.pdf	Ramböll, Karim Maghdoori
2	14-657-5@Gullbergsmotet nr 2.pdf	Ramböll, Karim Maghdoori
3	1480-1009-1 Kodammsbron nr 3 (Sammanställning 2).pdf	ÅF, Infrastruktur AB, Gert Andersson
3	Nr 3 Kodammsbron (plan, sektion).pdf	ÅF, Infrastruktur AB, Gert Andersson
7	3500-3229@ JV nr 7 Sammanställningsritning.pdf	ÅF, Infrastruktur AB, Gert Andersson
7	3500-5580-1@a JV Utby nr 22.pdf	Ramböll, Karim Maghdoori
9	1480-3056-1@a03 SPV nr 9.pdf	ÅF, Infrastruktur AB, Gert Andersson
9	1480-3056-1@a13 SPV nr 9 Ombyggnad landfästen.pdf	ÅF, Infrastruktur AB, Gert Andersson
10	1480-3036@a01 SPV nr 10 Sammanställning.pdf	ÅF, Infrastruktur AB, Gert Andersson
10	1480-3036@a02 SPV nr 10 Sammanställning sektioner.pdf	ÅF, Infrastruktur AB, Gert Andersson
11	1480-2097-1GCbro Gamlestadsbro nr11.pdf	Ramböll, Karim Maghdoori
21	1480-1043-1@Lemmingsgatan nr 21 Sammanställning.pdf	ÅF, Infrastruktur AB, Gert Andersson



Figur 43 Inventering av broar längs Sävån, delsträcka 1. 1) Vägbro Gullbergs strandgata. 1b) Trol. tidigare bro-fundament. 2) Vägbro E45 Gullbergsmotet. 3) Vägbro Kodammsbron. 4) Vägbro Röde orm



Figur 44 Inventering av broar längs Sävåån, delsträcka 2. 5) Ny järnvägsbro? 6) Järnvägsbro 1. 7) Järnvägsbro 2. 8) Pendeltågsbro. 9) Spårvägsbro 1. 10) Spårvägsbro 2. 11) Gång och cykelbro "Gamlestadsbro". 12) Vägbro Gamlestadsvägen. 13) Gång och cykelbro, träbro.



Figur 45. Inventering av broar längs Sävåån, delsträcka 3. 14) Gångbro SKF. 15) Vägbro Schönfeltsgatan SKF. 16) Vägbro SKF. 17) Gångbro ledningar SKF. 18) Utlöpp?



Figur 46 Inventering av broar längs Sävån, delsträcka 4. 19) Vägbro Kvibergs broväg. 20) Ledningsbro.



Figur 47 Inventering av broar längs Sävån, delsträcka 5. 21) Vägbro Lemmingsgatan. 22) Järnvägsbro Utby Österlyckan.

Utgående från inventeringen valdes de broar ut som primärt bedömdes ha betydande effekt på flöde och dämning (i en höglödessituation) och därmed effekt på simuleringarna av översvämningar längs Sävån. Främst är det lägre broar med flera och/eller kraftiga brofundament som står i å-fåran som är viktiga att implementera i modellen.

Broritningar eftersöktes i Trafikverkets databas BaTMan samt hos Trafikkontoret, Göteborg Stad. Relevant information om höjder och dimensioner kunde hittas för följande broar, vilka har implementerats i modellen:

1, 2, 3, 10, 11 och 21

Pendeltågs- och spårvägsbroarna nr 8, 9 och 10 i Gamlestaden ligger väldigt tätt och det var mycket svårt att i fält komma intill och se hur det faktiskt ser ut med fundamenten under respektive bro. Eftersom dessa 3 broar ligger tätt och tillsammans utgör ett hinder för flödet så har de lagts in som en samlad struktur i modellen. Då ritningar saknats avseende bro nr 8 och 9 (förutom landfästena för bro nr 9) har information om höjder och dimensioner i stället uppskattats från foton som togs i samband med inventeringen.

Under järnvägsbro nr 6 finns gamla brofundament från en tidigare bro av betydande storlek mitt i ån som utgör ett hinder för flödet. Eftersom inga ritningar har kunnat hittas så har dimensioner i stället uppskattats från foton som togs i samband med inventeringen.

Vid det pågående bygget med järnvägsbro nr 5 sågs två grupper med ett 10-tal träpålar nedslagna i å-fåran. Dessa bedömdes vara av tillfällig karaktär under byggnationen och troligtvis kommer inga fundament att finnas i vatten när bron är klar. Därför gjordes bedömningen att det är den strax uppströms belägna bro nr 6 med tillhörande äldre fundament som utgör begränsande tvärsnitt här.

För att få bättre kunskaper om broarna nr 5, 6, 8 och 9 rekommenderas inmätning. Detta har dock inte ingått i föreliggande studie.

Övriga inventerade broar och strukturer har bedömts ha ringa eller underordnad betydelse för simulering av översvämningar längs Säveån. Om modellen längre fram används i andra syften än övergripande översvämningsberäkningar så kan dock situationen vara en annan och en ny värdering av strukturer och ev utlopp/tillflöden kan behövas.