

Avsedd för
Stadsbyggnadskontoret i Göteborg

Dokumenttyp
Rapport

Datum
2014-12-19

Revision
1

HYDROMODELL FÖR GÖTEBORG

MODELLDOKUMENTATION FÖR OMRÅDE C – CENTRALA GÖTEBORG



HYDROMODELL FÖR GÖTEBORG

MODELLDOKUMENTATION FÖR OMRÅDE C – CENTRALA GÖTEBORG

Revidering **1**
Datum **2014-12-19**
Utfört av **Henrik Thorén**
Kontrollerad av **Henrik Sönderup, Tora Lindberg**
Godkänd av **Tora Lindberg**
Beskrivning **Modelldokumentation av Område C i projektet Hydro-
modell för Göteborg**

Ref. 1320001782-002
Document ID
Version

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	Sammanfattning	1
2.	Ordlista	2
3.	Bakgrund	5
4.	Klimatet	6
4.1	Temperatur	6
4.2	Nederbörd	6
4.3	Klimatförändringar	6
5.	Modellområde	7
6.	Modelluppbyggnad	13
6.1	Principiell modellöversikt	14
6.2	MIKE Urban - Ledningsnätsmodell	14
6.2.1	Avrinningsområde	14
6.2.2	Pumpar	15
6.2.3	Bräddavlopp	15
6.2.4	Randvillkor	16
6.2.5	Uppdatering av ledningsnätet	17
6.2.6	Uppdatering av järnvägsområdet	19
6.3	MIKE 21 – Översvämningsmodell	22
6.3.1	Skyddsbarriärer för infrastruktur	23
6.3.2	Invallning av området	27
7.	Kalibrering	30
7.1	Mätkampanj och genomförande	30
7.2	Kalibreringsresultat	32
8.	Genomförda simuleringar	34
9.	Modellosäkerheter	36
10.	Rekommendationer	38
11.	Referenslista	39

BILAGOR

Bilaga 1

Kartbilagor

Bilaga 2

Grafer med kalibreringsresultat

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 hinna 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.

I Centrala staden i Göteborg finns viktiga infrastrukturer, såsom Götatunneln, Tingstadstunneln, E6/E20, E45, Centralstationen och Godsterminalen. Om dessa översvämmas får det inte bara konsekvenser för Göteborg, utan även för stora delar av Västra Götaland. I projektet Hydromodell för Göteborg definierades modellområdet för Centrala stadens som Område C. Området består av Gullbergsvass, Hultmans Holme, Olskroken, Hantverkshuset, Stampen och Nordstaden. Området avgränsas av Göta Älv, Norra Hamnkanalen, Fattighusån, E6/E20, Gullbergsån och Sävveån.

I projektet skapades en s.k. hydromodellen. Denna består av en MIKE Urban modell som beskriver avloppssystemet och en MIKE 21 modell som är en översvämningsmodell som beskriver markytan i modellområdet. Modellen har kalibrerats mot flödesmätningar i avloppssystemet som utfördes av DHI. Data från lokala regnmätare gav information om hur mycket det regnade under samma period. Utifrån dessa två parametrar kunde hydromodellen kalibreras.

I projektet Hydromodell för Göteborg utfördes 8 simuleringar för Område C. Modellen simulerades med regn med återkomsttiderna 10, 100 och 500 år. För att kartlägga översvämningsrisken vid höga vattennivåer i Göta Älv varierades vattennivån i modellens utlopp.

Vid simulering i MIKE Urban finns det flera modellosäkerheter som är nödvändiga att känna till. Detta kan t.ex. vara andelen hårdgjorda ytor i modell området och hur begränsande rännstensbrunnar kan vara för att vattnet ska kunna ledas bort av avloppssystemet.

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.

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

I Centrala staden i Göteborg finns viktiga infrastrukturer, såsom Götatunneln, Tingstadstunneln, E6/E20, E45, Centralstationen och Godsterminalen. Om dessa översvämmas får det inte bara konsekvenser för Göteborg, utan även för stora delar av Västra Götaland. Inom den närmaste framtiden kommer området vara föremål för stadsutveckling och dessutom ska projektet Västlänken korsa området. Som underlag för stadsutvecklingen och för att skydda nuvarande och framtida kritiska infrastrukturer är det viktigt att genomföra en kartläggning av översvämningsrisken.

Syftet med en hydromodell för Centrala staden är att skapa ett verktyg för att kunna kartlägga översvämningsrisken i området för det nuvarande och framtida klimatet. Modellen kommer att användas för att kartlägga översvämningsrisken för de nya stadsmiljöer som kommer att utvecklas i området. Modellen kan även användas till att kartlägga översvämningsrisken under uppförandet av Västlänken och efter att Västlänken tagits i drift.

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 och till att jämföra olika förslag med varandra.

Modellen är uppbyggd baserat på Kretslopp och Vattens ledningsdatabas och den är anpassad för att simulera extrema regnhändelser med hög återkomsttid. Vid dessa extrema regnhändelser hinner inte allt vatten från gröna ytor att infiltrera och detta skapar en större avrinning. Modellen är kalibrerad för att skapa större avrinning vid regn och därför är modellen inte lämplig att använda för regn med lägre återkomsttid där mer vatten normalt infiltrerar. Modellen har förenklats till att endast beskriva det kommunala avloppssystemet. Om ett mindre område ska simuleras, där hänsyn ska tas till fler detaljer måste modellen detaljeras i detta område. Översvämningsmodellen har en upplösning på 2x2 m och därmed tas endast objekt som är större än 2 m med i översvämningsmodellen. Om en mur är smalare än 2 m är det inte säkert att hänsyn till effekten av denna kommer att påverka resultatet. För att smala höga objekt ska tas med krävs att de läggs in manuellt.

I projekt Hydromodell för Göteborg har även liknande hydromodeller som den för centrala staden skapats för Mölndalsån, Sävåån och Kvillebäckens avrinningsområden i Göteborgs Stad. I dessa modeller användes vattendragsmodeller uppbyggda i MIKE 11. Mellan Älvsborgsbron och Jordfallsbron skapades en hydromodell baserat på en sammansatt MIKE 11 och MIKE 21 modell.

4. KLIMATET

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).

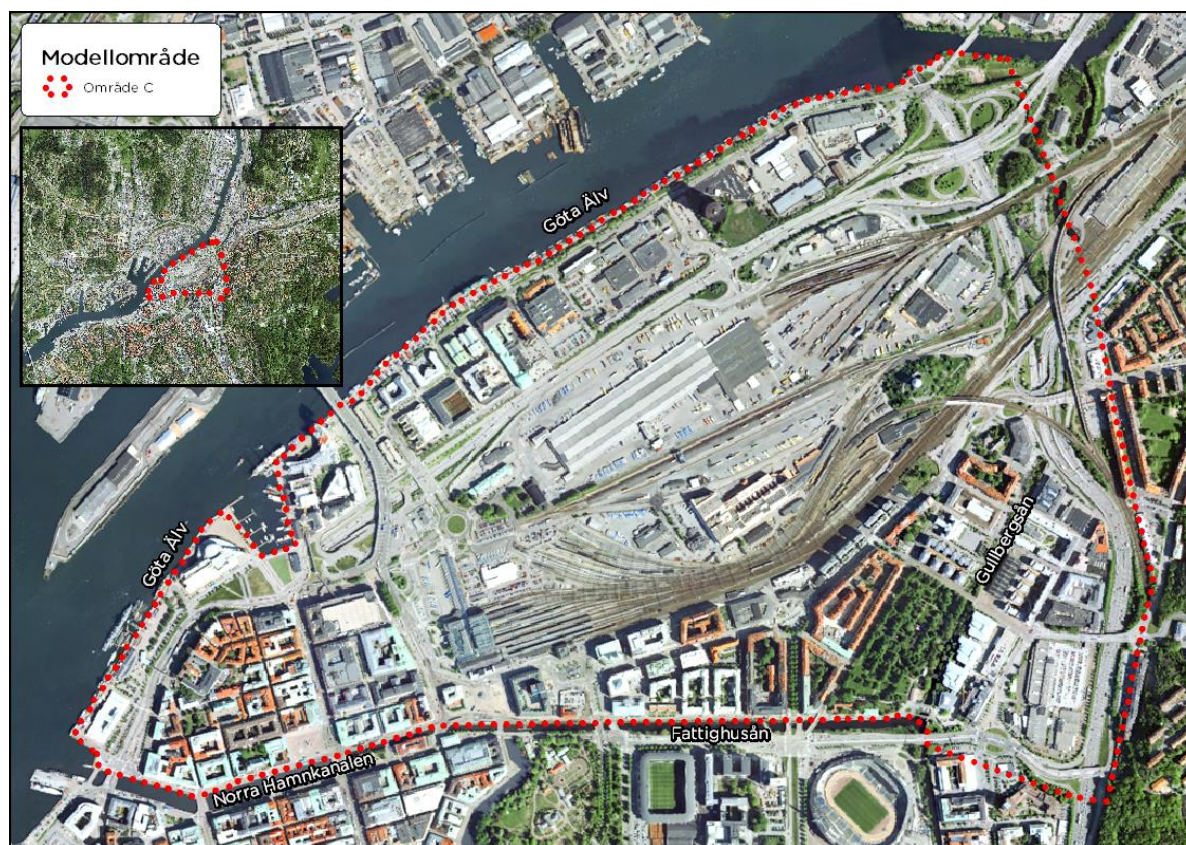
Samtidigt som medelvattennivån i havet stiger motverkas denna av den landhöjningen som sker i och med att trycket från inlandsisen försvann (SMHI, 2011). Landhöjningen sker långsammare än höjningen av den framtida medelvattennivån i havet och nettohöjningen blir därför högre än dagens medelvattennivå (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).

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 modellområdet för Centrala stadens som Område C. Området består av Gullbergsvass, Hultmans Holme, Olskroken, Hantverkshuset, Stampen och Nordstaden. Området avgränsas av Göta Älv, Norra Hamnkanalen, Fattighusån, E6/E20, Gullbergsån och Säveån enligt figur 1. Modellområdet omfattar totalt 238 ha varav 234 ha utgörs av någon form av hårdgjord yta, såsom väg, hus parkering osv.

Området är uppbyggt av gamla fyllnadsmassor som har lagts på älvens botten. Detta är ett av de centrala områden i Göteborg som ligger lägst och där översvämningsrisken är störst. I området finns viktig infrastruktur, näringsliv och industri. Längs Göta Älv ligger olika företags- och industribyggnader. Längre västerut i Nordstaden finns köpcenter, bostäder och flera offentliga byggnader. Götatunneln går från Nordstaden till Masthugget. Mitt i modellområdet ligger järnvägsområdet vid Centralstationen och Godsterminalen. Längs Fattighusån finns bostäder. I de östra delarna korsar E6/E20 området och går i Tingstadstunneln mot Hisingen.



Figur 1 Modellområde för Område C, avgränsat av Göta Älv, Norra Hamnkanalen, Fattighusån, E6/E20, Gullbergsån och Säveån.

Om vattennivån i Göta Älv stiger på grund av att höststormarna pressar havsvatten i Kattegatt mot Göta Älvs inlopp skapas en högvattensituation där stora delar av Område C riskerar att översvämmas.

I området är dessutom stora delar av ytorna hårdgjorda vilket skapar snabb avrinning vid extrem nederbörd. De hårdgjorda ytorna består främst av byggnader och vägar, men också av parkeringsplatser och uppställningsytor på industrimark, se figur 2. Andelen grönytor där vattnet kan infiltrera i området är ytterst begränsad.

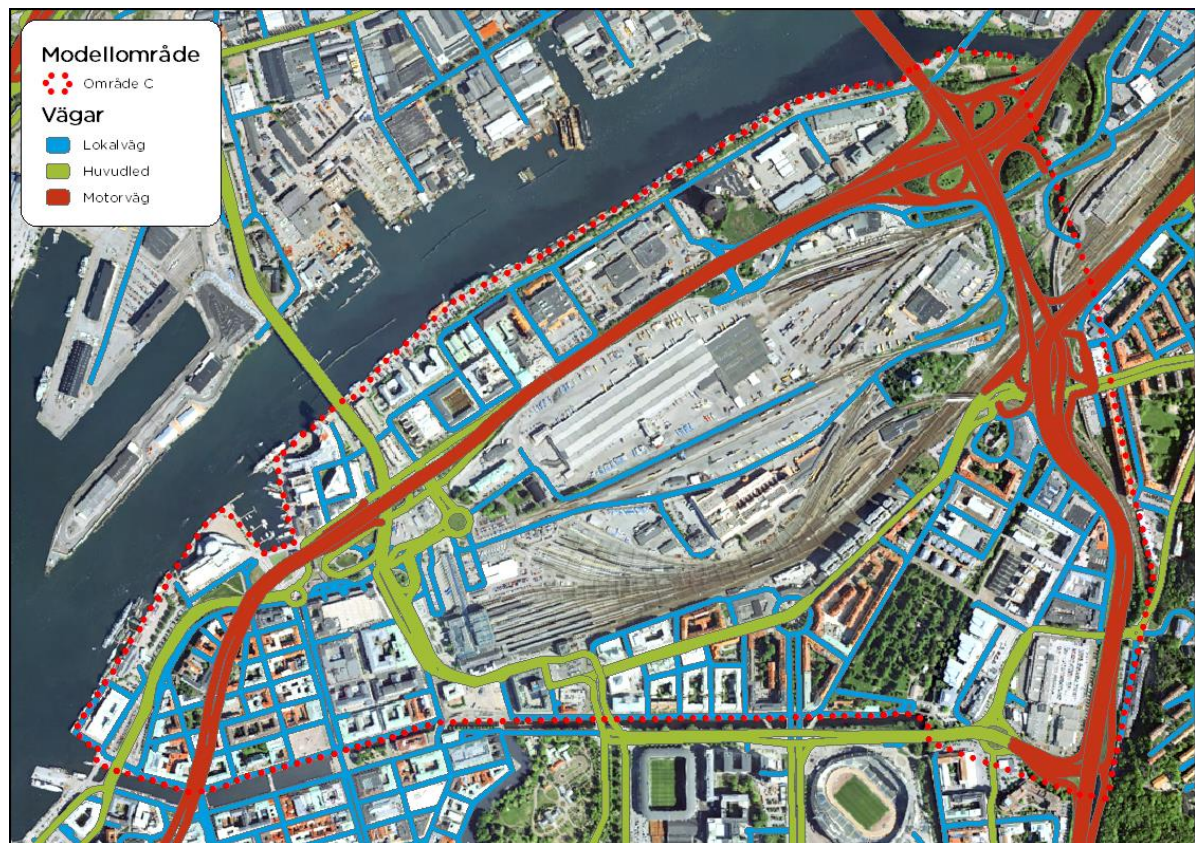


Figur 2 Byggnadstyper i modellområdet.

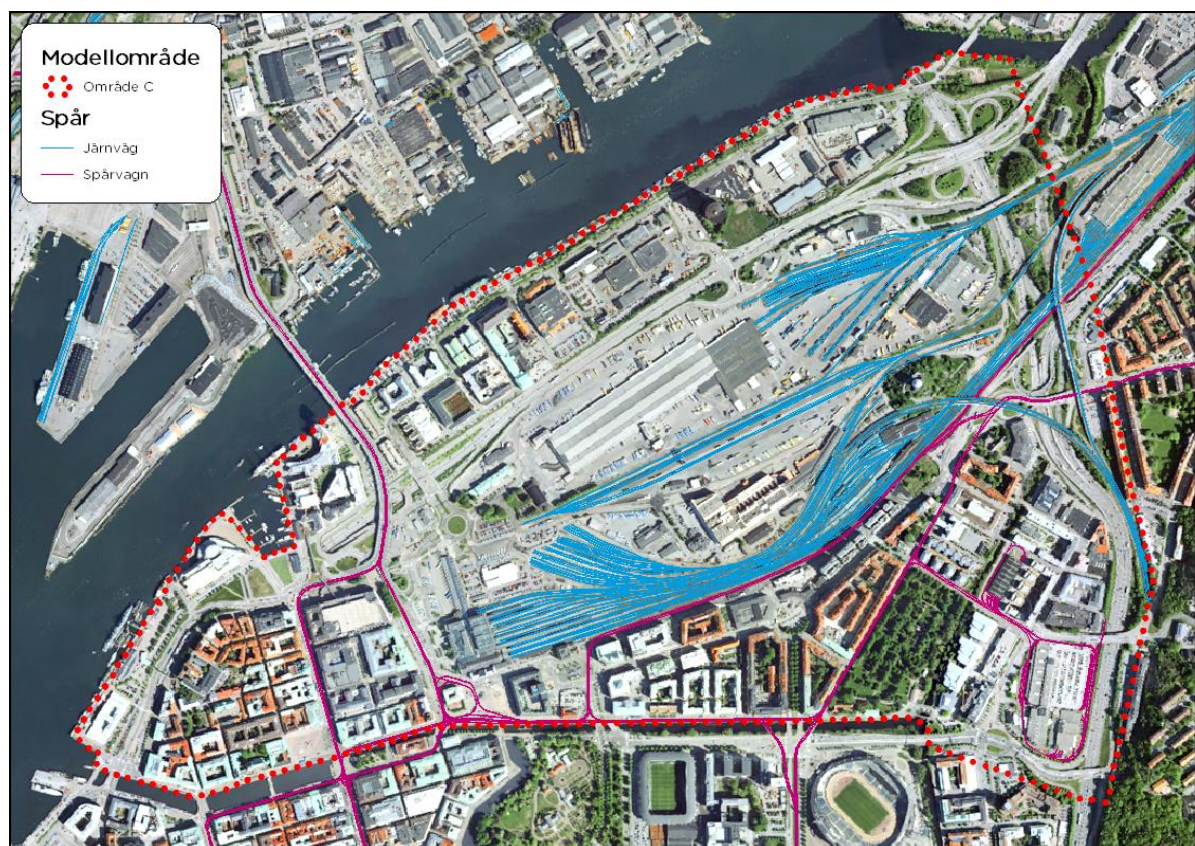
Flera viktiga infrastrukturer finns i, eller korsar, området. Bland annat korsar motorvägen E6/E20 området och går ner i Tingstadstunneln mot Hisingen, se figur 3. Mårten Krakowgatan (E45) förbinder motorvägen E6/E20 och Göta Tunneln som leder trafiken under Norra Hamnkanalen och Vallgraven till Masthugget. Dessutom finns hela Centralstationen och Godsterminalen i området vilket är en mycket viktig infrastruktur för Göteborg men också för hela västra Sverige.

En stor del av trafiken använder också Götaälvbron som förbinder Centrala staden med Hisingen. Det innebär att även de mindre vägarna i området har en stor andel trafik som skulle drabbas om området översvämmades.

Förutom järnvägen som går in mot Centralstationen finns även de mest centrala delarna av spårvagnsnätet i området, se figur 4. De flesta spårvagnslinjerna går förbi Centralstationen och den största knutpunkten, Brunnsparken, finns strax söder om Centralstationen. Översvämnningar i området skulle störa spårvagnstrafiken i stora delar av Göteborg.



Figur 3 Vägar i modellområdet.



Figur 4 Järnvägar och spårvägar i modellområdet.

Utöver att området redan idag har stor betydelse för Göteborg eftersom det innehåller viktig infrastruktur kommer området att till stor del byggas om i framtiden. Dessutom ska projektet Västlänken byggas innan år 2030. I projektet Västlänken ska en tågtunnel korsa hela området och komma upp vid Olskroken. I höjd med centralstationen ska en underjordisk station byggas på liknande sätt som för Citytunneln vid Centralstationen i Malmö.

För att all denna infrastruktur ska fungera ställs stora krav på att området säkras mot översvämningar.

Markanvändningen i modellområdet består till stor del av hårdgjord yta, se figur 5. Enligt stadsbyggnadskontorets egen uppdelning av olika marktyper har tre olika kategorier definierats; hus, hårdgjord yta och naturyta. Även hus är enligt definition en hårdgjord yta, men då det fanns tydlig geografisk information om husens placering har dessa fått en egen kategori.

Området består till 76 % av hårdgjord yta, 23 % av byggnader och 1 % av naturyta, se tabell 1. Om hus även räknas som en hårdgjord yta är andelen hela 99 % hårdgjord yta och 1 % naturyta. Det ska nämnas att det finns mindre grönytor som inte var klassificerade som naturyta i områden och den faktiska andelen av naturytor ligger uppskattningsvis runt 2-3 %. Modellområdets begränsningslinje är ca 6,6 km. Av denna är 0,6 km kulverterad, 4,6 km består av kajkant och 1,4 km består av slänt mot vattnet, se tabell 2.



Figur 5 Markanvändning i modellområdet.

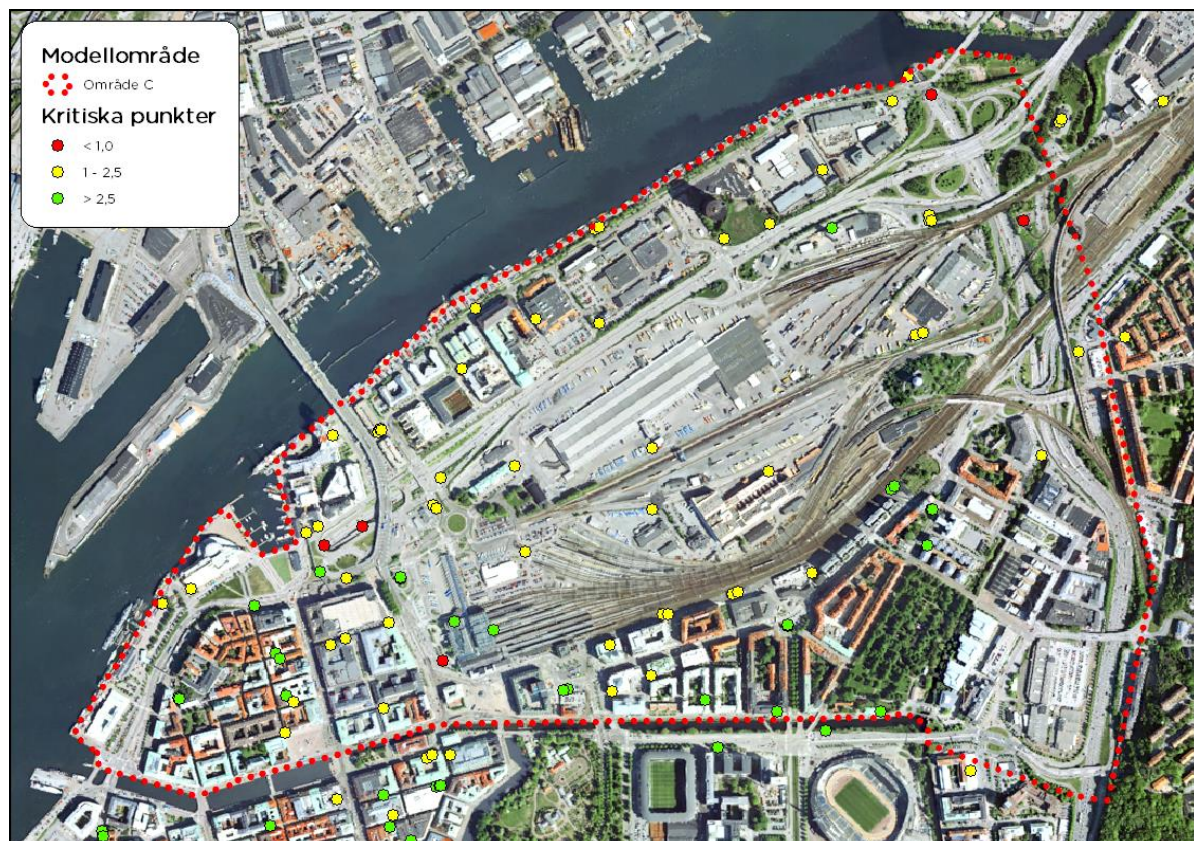
Markanvändning	Area	Andel
Byggnader	54,4 ha	23 %
Hårdgjord yta	180,0 ha	76 %
Naturyta	3,7 ha	1 %
Totalt	238,1 ha	100 %

Tabell 1 Fördelning av markanvändning i modellområdet.

Kustlinje	Längd
Kajkant	4 600 m
Naturlig mark	1 430 m
Kulvertert	570 m
Totalt	6 600 m

Tabell 2 Fördelning av olika typer av begränsningslinje som avgränsar modellområdet.

I området finns en stor del av de samhällskritiska objekten. Stora störningar skulle orsakas i samhället om de kritiska objekten blev översvämmade. För varje kritiskt objekt finns en kritisk översvämningsnivå definierad. De kritiska objekten i området har kartlagts i figur 6. Objekt med grön färg löper en viss risk för översvämning i framtiden, eftersom den kritiska nivån är över +2,5 m, vilket motsvarar en 200 års vattennivå i Göta Älv år 2100. De objekt som är markerade med gul färg riskerar att översvämmas, eftersom dessa objekt har en kritisk nivå som minst ligger 1 m över normalvattennivån i Göta Älv, vilket ofta kommer att överstigas i framtiden. De objekt som är markerade med röd färg har en väldigt låg kritisk nivå och därmed en väldigt stor översvämningsrisk. Detta är främst tunnlar och andra lågpunkter i terrängen. Det finns dock skyddsvallar som skyddar flera av dessa objekt, eftersom flera ligger under normalvattennivån i Göta Älv.

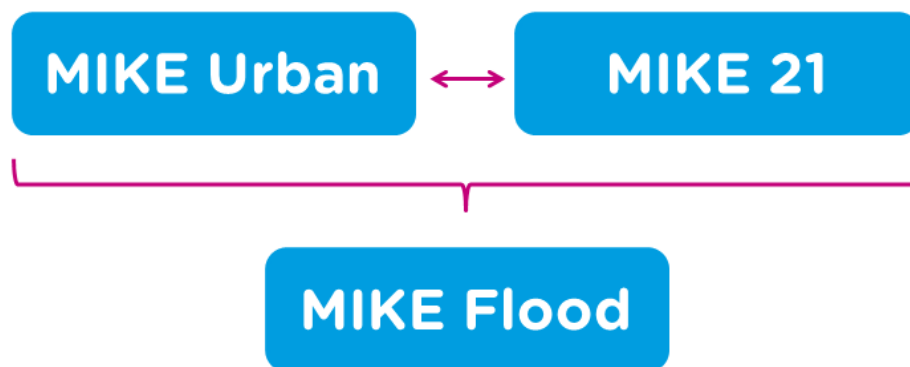


Figur 6 Samhällskritiska objekt i modellområdet, uppdelade på dess kritiska nivå.

Markytan i modellområdet är flack. Förutom de lokala lågpunkterna runt Götatunneln, Tingstadstunneln och Olskroken ligger marken lägst utefter Göta Älv, runt packhusplatsen och längs Gullbergsån söder om E6/E20. Längs Norra Hamnkanalen och Fattighusån är marken högre och sluttar ut mot Göta Älv. De kombinerade avloppsledningarna leder vattnet ner mot Kodammarnas pumpstation vid Olskroken, som sedan pumpar vattnet vidare till avloppsreningsverket Ryaverket. Dagvattenledningarna leder vattnet ut till närmaste recipient, även om marken sluttar lätt från söder mot norr.

6. MODELLUPPBYGGNAD

Hydromodellen för modellområde C består av en MIKE Urban modell som beskriver avloppssystemet och en MIKE 21 modell som är en översvämningsmodell som beskriver markytan i modellområdet. Dessa två modeller är sammankopplade vid varje nedstigningsbrunn i MIKE Urban-modellen. Denna typ av sammankoppling kallas för en MIKE Flood modell, se figur 7.



Figur 7 Illustration av en MIKE Urban modell som är sammankopplad med en MIKE 21 modell för att skapa en MIKE Flood modell

MIKE Flood modellen användas för att simulera översvämningsrisk för olika scenarier, men om endast simulering av avloppssystemet önskas kan MIKE Urban modellen köras självständigt. Det är även möjligt att använda MIKE 21 modellen självständigt.

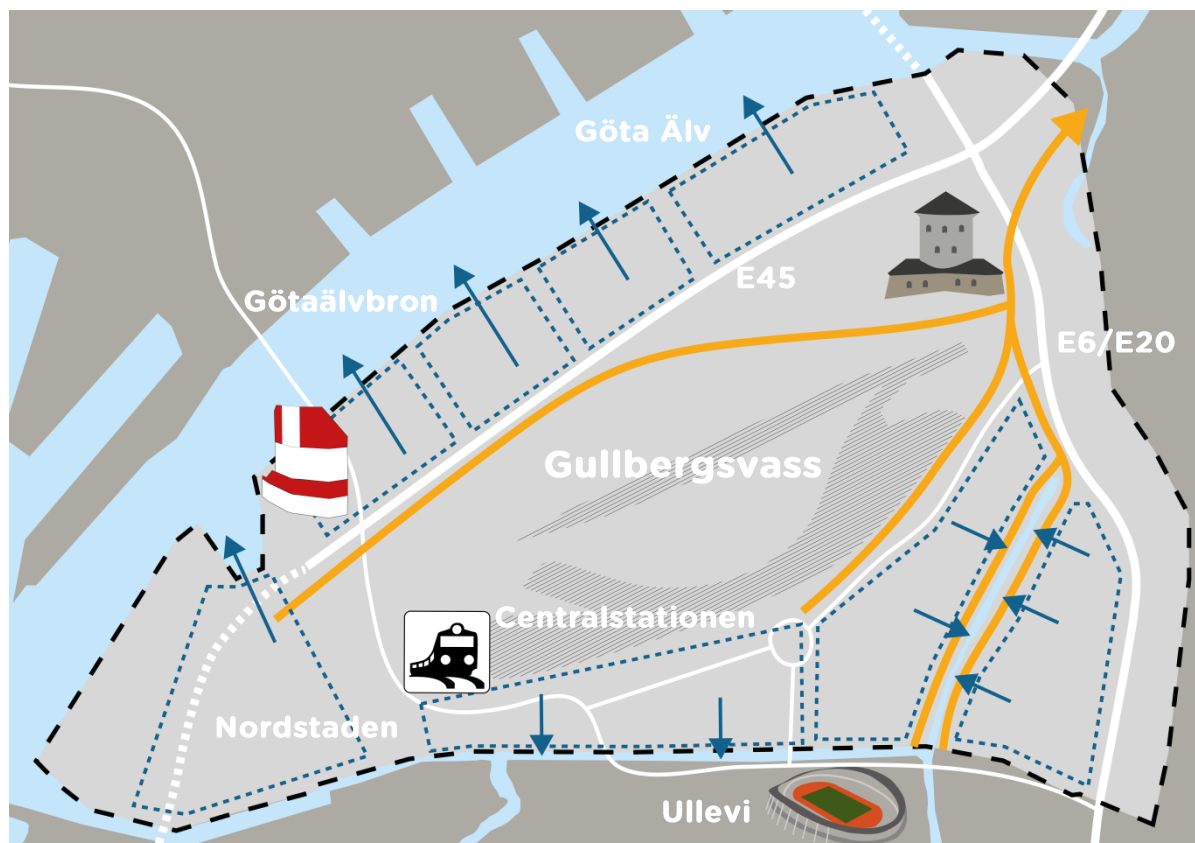
Andelen hårdgjorda ytor i modellen är kalibrerade mot en regnhändelse den 27 juli 2013. Detta regn hade en återkomsttid på omkring 20 år. Eftersom syftet med scenarierna i Hydromodell för Göteborg var att beskriva regn med väldigt hög återkomsttid togs beslutet att endast kalibrera modellen mot denna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

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

6.1 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 illustrera hur modellområdet avvattnas, se figur 8. Från Nordstaden går en avloppsledning (orange färg) som både avleder kombinerat vatten och spillvatten. Från Gårda kommer två stora kombinerade ledningar som möter upp ledningen från Nordstaden ungefär vid Skansen Lejonet. Ledningen går sedan ner till Kodammarnas pumpstation som pumpar vattnet vidare till Ryaverket.

Längs Göta Älv finns flera avrinningsområden för dagvatten som leder ut vattnet till Göta Älv. Liknande finns även längs Fattighusån och Gullbergsvass.



Figur 8 Principiell modellöversikt av ledningsnätet i modellområde C

6.2 MIKE Urban - Ledningsnätsmodell

I projektet Hydromodell för Göteborg vidareutvecklades en MIKE Urban modell för modellområdet som hade skapats av Kretslopp och Vatten i Göteborgs Stad. Modellen från Kretslopp och Vatten hade byggts upp baserat på deras ledningsdatabas över modellområdet. Avrinningsområdena var definierade utifrån fastighetskartan och andelen hårdgjorda ytor hade beräknas utifrån digital geografisk information av hus, vägar och andra hårdgjorda ytor. Andelen hårdgjorda ytor kalibrerades sedan mot uppmätt regn och flöde i projektet Hydromodell för Göteborg.

6.2.1 Avrinningsområde

Modellområdets yta är ca 295 ha och består till största del av avrinningsområden med ett duplikt avloppssystem. Detta betyder att det finns en ledning för avloppsvatten och en för dagvatten. Avrinningsområden med duplikt system står som dagvatten i tabell 3. Totalt är ca 172 ha hårdgjorda ytor vilket motsvarar 58 % av hela modellområdets yta. I tabell 3 finns avrinningsområdena även uppdelat på avloppssystem. För information angående varje avrinningsområdes yta och andel hårdgjord yta hänvisas till kartbilagorna 1320001782-08-88 och 1320001782-08-95.

Modellområdet	Reducerad yta	Total yta	Andel hårdgjord yta	Andel av total yta
Spillvatten	0,5 ha	2,6 ha	19 %	1 %
Dagvatten	110,2 ha	179,0 ha	62 %	61 %
Kombinerat	60,8 ha	113,6 ha	54 %	38 %
Totalt	171,6 ha	295,2 ha	58 %	100 %

Tabell 3 Sammanställning av totala ytor, reducerade ytor och andel hårdgjorda ytor både för hela modellområdet och fördelat på avloppssystem.

6.2.2 Pumpar

Det finns totalt 8 pumpstationer i MIKE Urban modellen, se tabell 4. 4 stycken pumpar dagvatten, 1 pumpar spillvatten och 1 pumpar kombinerat avloppsvatten. Dessutom finns två pumpstationer som lagts till för att kunna pumpa bort dagvatten som rinner ner i Götatunneln och Tingstadstunneln. Dessa pumpstationer drivs inte av Kretslopps och vatten och är inte kopplade till avloppsledningssystemet utan pumpar direkt ut i Göta Älv. Dess pumpkapacitet har grovt uppskattats till 3000 l/s.

Pumpkapaciteten för Kodammarnas pumpstation är ca 8 500 l/s. Dock delas denna kapacitet av fler avrinningsområden än Område C. Därför har kapaciteten i pumpstationen kalibrerats fram med hjälp av uppmätt regn och flöde i avloppsledningarna uppströms pumpstationen. Kalibreringen visade att om pumpstationen hade en pumpkapacitet på 3000 l/s passade de uppmätta flödena med de simulerade i MIKE Urban modellen.

Plats	MUID	Nivå		Max kapacitet	Kommentar
		Start	Stop		
Gullbergsmotet	Gullbergsmotet__PS	-6,0	-8	500 l/s	Dagvatten
Gullbergsvassgatan	Gullbergsvass_Ps1	-1,9	-3,9	325 l/s	Dagvatten
Gullbergs Strandgata	GullbStrandg	-0,2	-0,7	110 l/s	Dagvatten
Götatunneln	Götatunneln	-4,1	-5,0	3000 l/s	Fiktiv pst.
Kodammarna	Kodammarna_P1	-6,0	-8,4	3000 l/s	Kombinerad. Uppskattad kapacitet
Lilla Bommen	Lilla_Bommen_dagv	-6,0	-7,0	200 l/s	Dagvatten
Lilla Bommen	LillaBommen	-2,1	-3,1	110 l/s	Spillvatten
Tingstadstunneln	Tingstadstunneln	-6,1	-7,0	3000 l/s	Fiktiv pst.

Tabell 4 Översikt av pumpstationerna i MIKE Urban modellen

6.2.3 Bräddavlopp

Det finns 6 bräddavlopp i modellområdet, se tabell 5. En blandning av spillvatten och kombinerade ledningar har möjlighet att brädda vatten till närliggande dagvattenledning eller recipient.

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. Kretslopp och Vatten har inget registrerat bräddavlopp från dessa ledningar och det bör undersökas närmare vart detta vatten tar vägen.

Plats	MUID	Bräddnivå (m)	Bräddkant (m)	Kommentar
Brunnsparken	BB5544	1,65	1	Komb. till Norra Hamnkanalen
Olskroken	Brädd_5685	-0,95	1	Spill. till Dag.
Elfrida Andréas gata	Dämnet	0,55	2	Komb. till Gullbergsån
Hultmans Holme	Gaskl	0,57	0.35	Spill. till Göta Älv
Östra Hamngatan	Ostrahamng_5044	0,48	1.95	Komb. till Dag.
Brunnsparken	Överledn_Brunnsparken	-0,65	3	Komb. till komb.

Tabell 5 Sammanställning av samtliga bräddavlopp från avloppssystemet i modellområde C

6.2.4 Randvillkor

Som randvillkor har regn, spillvatten och recipientnivå använts. Regnet fördelas jämt på alla avrinningsområden i modellen. Avrinningsområdets storlek och andelen hårdgjorda ytor avgör sedan hur mycket avrinning som genereras från varje avrinningsområde. Varje avrinningsområde är kopplat 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 och även i de kombinerade avrinningsområdena längs Mölndalsån samt östra delen av Inom Vallgraven. Dygnsförbrukningen av dricksvatten för varje fastighet har kopplats till dess koordinat för att det ska vara möjligt att låta MIKE Urban koppla vattenförbrukningen till närmaste spillvatten eller kombinerade nedstigningsbrunn.

För varje utlopp finns en recipientnivå definierad. Alla förutom utloppen längs Fattighusån har samma nivå som Göta Älv. Normalvattenståndet i Fattighusån är +1,40 m och utloppen här har haft denna recipientnivå istället, så länge vattennivån i Göta Älv inte är högre än +1,40 m. Orsaken är att slussen söder om Centralstationen håller vattennivån högre i Mölndalsån och Fattighusån för att minska risken för sättningar i husen längs åarna. Om nivån i Göta Älv har simulerats högre än +1,40 m har även nivån i dessa utlopp varit detsamma som i Göta Älv.

Plats	Recipient	Randvillkor	Utlopp	Nivå
Casino Cosmopol	Göta Älv	Casino	ADD2371	+0,15 m
Casino Cosmopol	Gullbergsån	KS_8	ADD2372	+0,15 m
Göteborgsoperan	Göta Älv	Operan	AD_UT_1_0	+0,15 m
L. Bommens Gästhamn	Göta Älv	LBom	AD_1_10	+0,15 m
Götaälvbron	Göta Älv	Götaälvbron	ADD1479	+0,15 m
Kämpegatan	Göta Älv	Utl_GullbvassPS	ADD1482	+0,15 m
Trollhätttegatan	Göta Älv	Utl_Gullbvass	AD1_69	+0,15 m
Falutorget	Göta Älv	Utl_gaskl	ADD7901	+0,15 m
Gasverkskajen	Göta Älv	Gasv_kaj	ADD1507	+0,15 m
Gasverkskajen	Göta Älv	Gasv_kaj_2	AD_1_104_UT	+0,15 m
Packhusplatsen	N. Hamnkanalen	N_Hamn_1	ADD3035	+0,15 m
Packhusplatsen	N. Hamnkanalen	N_Hamn_2	ADD826	+0,15 m
Smedjegatan	N. Hamnkanalen	N_Hamn_3	AD_1_4	+0,15 m
Smedjegatan	N. Hamnkanalen	N_Hamn_4	AD_1_3	+0,15 m
Torggatan	N. Hamnkanalen	N_Hamn_5	AD_1_18	+0,15 m
Östra Hamngatan	N. Hamnkanalen	N_Hamn_6	AK_2_27	+0,15 m
Nils Ericsonsgatan	N. Hamnkanalen	N_Hamn_7	AD_1_43	+0,15 m
Drottningtorget	N. Hamnkanalen	Drottn_1	AD_1_56	+0,15 m
Drottningtorget	N. Hamnkanalen	Drottn_2	AD_1_63	+0,15 m
Eva Rodhes gata	Fattighusån	Stamp_1	ADD2378	+1,40 m
Barnhusgatan	Fattighusån	Stamp_2	ADD2377	+1,40 m
Karin Boyers gata	Fattighusån	Stamp_3	ADD830	+1,40 m
Elfrida Andrées gata	Gullbergsån	Gullb_1	AD_Node_11	+0,15 m
Elfrida Andrées gata	Gullbergsån	Gullb_2	AD_Node_12	+0,15 m
Elfrida Andrées gata	Gullbergsån	Gullb_3	ADD8201	+0,15 m
Ågången	Gullbergsån	Gullb_4	AD_Node_20	+0,15 m
Bältgatan	Gullbergsån	Gullb_5	AD_Node_18	+0,15 m
Ågången	Gullbergsån	Gullb_10	ADD7061	+0,15 m
Ågången	Gullbergsån	Gullb_9	ADD2880	+0,15 m
Garverigatan	Gullbergsån	Gullb_6	ADD1521	+0,15 m
Gullbergsbrogatan	Gullbergsån	Gullb_7	Node_35	+0,15 m
Olskroken	Gullbergsån	Gullb_8	Gullbergs_	+0,15 m
			kulvertutlopp	

Tabell 6 Sammanställning av randvillkor för recipientnivå vid normalvattenstånd

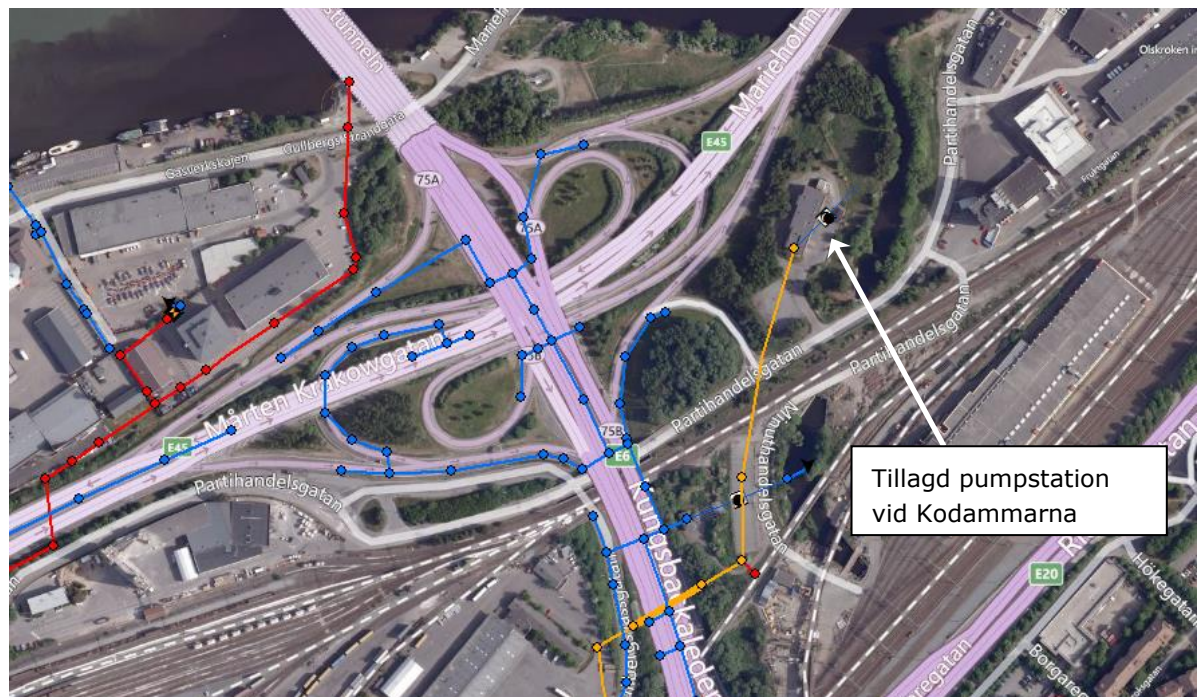
6.2.5 Uppdatering av ledningsnätet

Förutom att kalibrera den av Kretslopp och Vatten uppbyggda MIKE Urban modellen över Område C har även modellen uppdaterats i projektet Hydromodell för Göteborg.

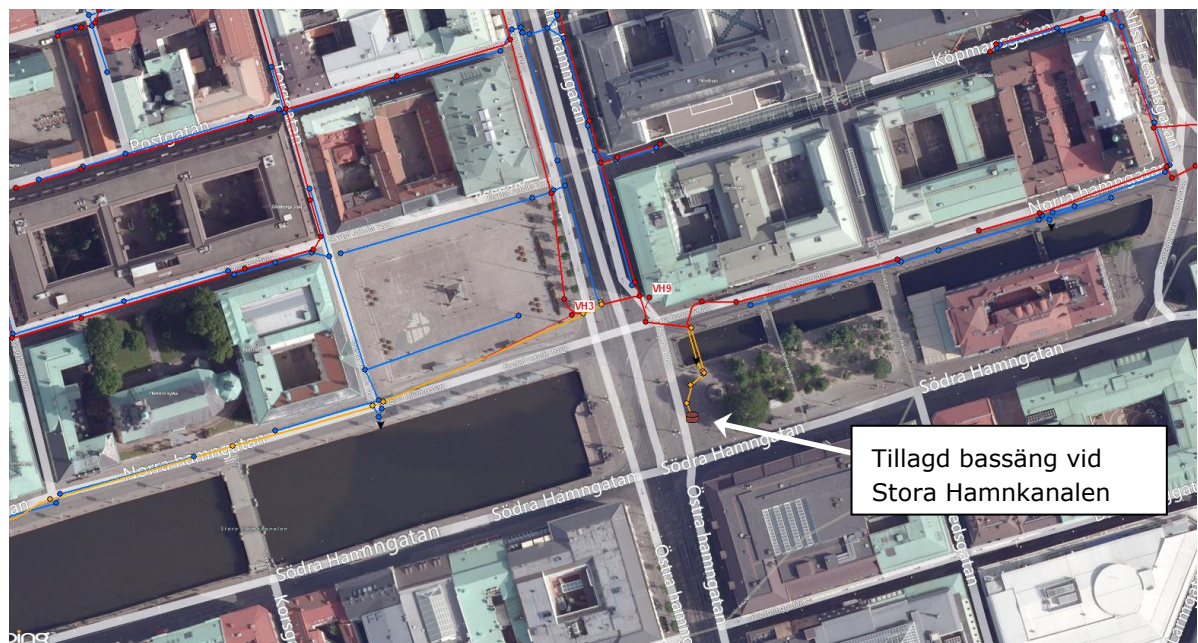
Utloppet vid Kodammarna har bytts ut mot en pumpstation, med en samlad pumpkapacitet på $3 \text{ m}^3/\text{s}$, se figur 9. Detta är inte den faktiska pumpkapaciteten för pumpstationen men kalibreringsresultatet av mätpunktpunkt VH7 och VH8 den 27 juli 2013 vid Ullevi blev bäst om kapaciteten för pumpstationen var ca $3 \text{ m}^3/\text{s}$.

För att beskriva den tillgängliga magasinvolymen som finns tillgängligt i avloppssystemet uppströms bräddkanten till Stora Hamnkanalen i Östra Hamngatan (AKIN10068), har en bassäng på ca 100 m^3 lagts till i AKIN10074.

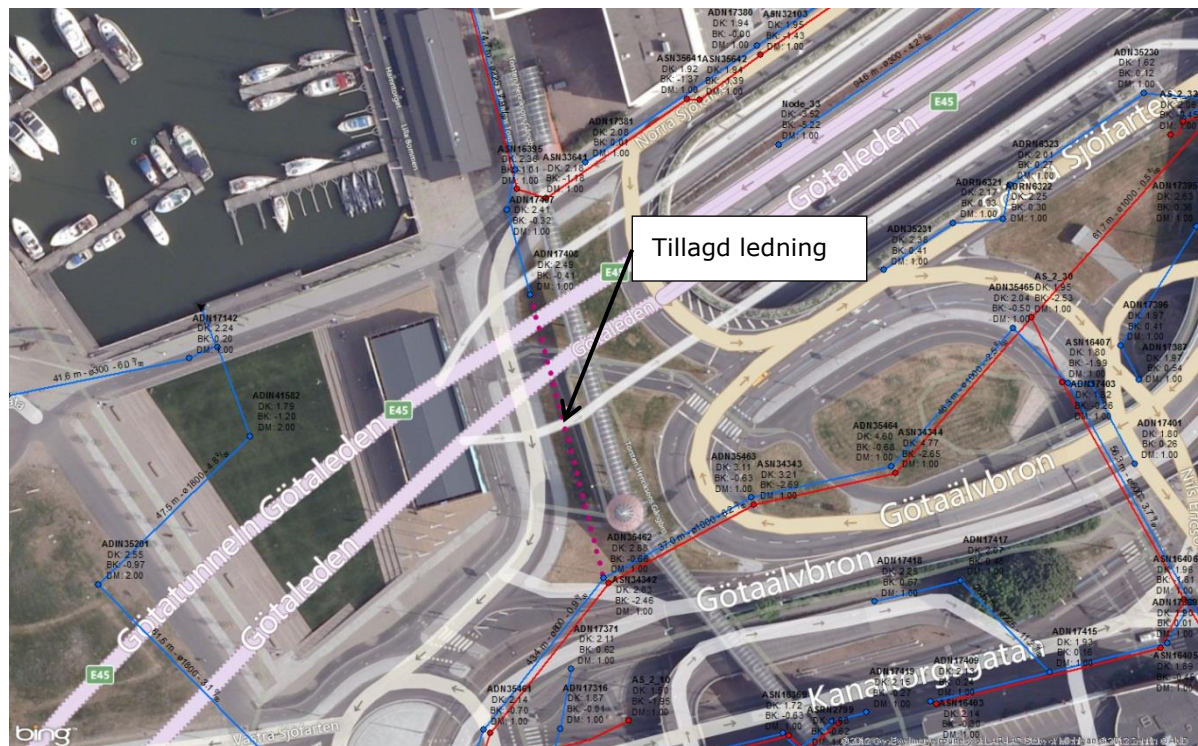
Två avloppsledningar saknades i modellen och därför har de blivit tillagda i modellen, se figur 11 och figur 12.



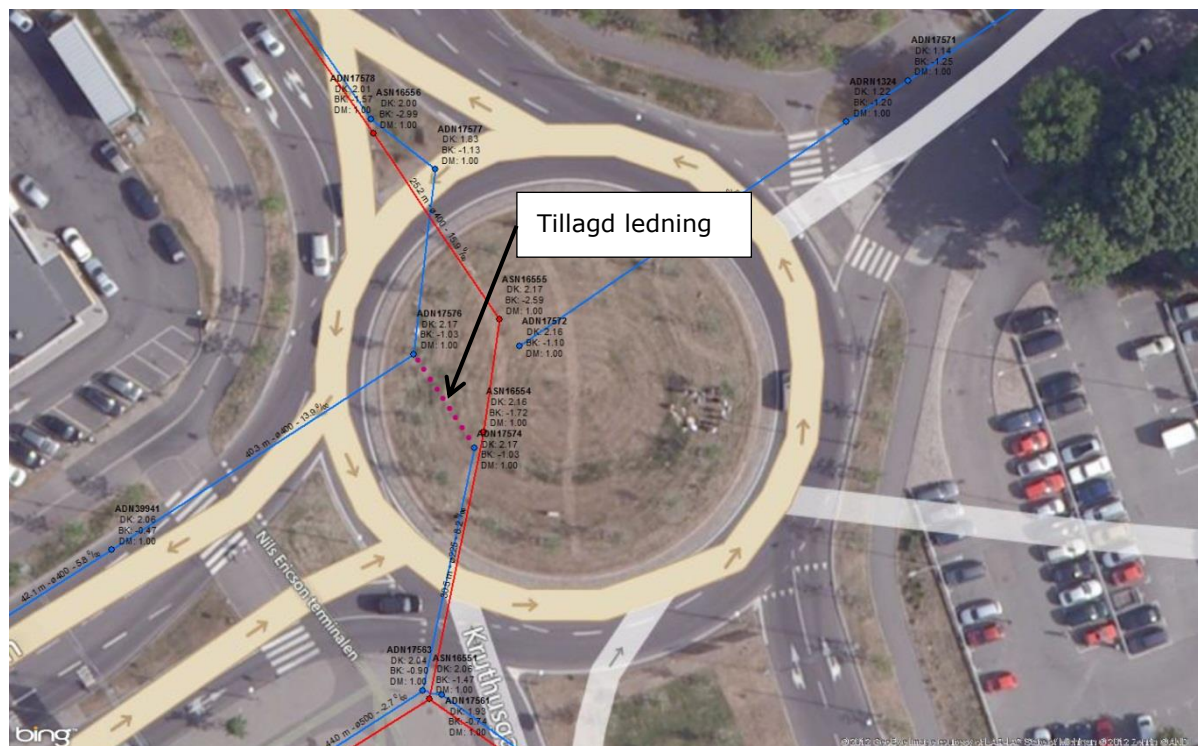
Figur 9 Översikt av den tillagda pumpstationen vid Kodammarna



Figur 10 Översikt av den tillagda bassängen vid Stora Hamnkanalen



Figur 11 Översikt av den tillagda ø225 mm ledningen söder om Lilla Bommens torg



Figur 12 Översikt av den tillagda ø500 mm ledningen i rondellen norr om Centralstationens parkeringsplats

6.2.6 Uppdatering av järnvägsområdet

Den utförda uppdateringen av de interna avrinningsområdena på järnvägsområdet är baserad på en principiell skiss från Trafikverket, se figur 13 och figur 14. Skissen visar att det finns 10 huvudavrinningsområden på järnvägsområdet, som i figur 14 är benämnda JVG_01 till JVG_10. I största möjliga mån har de ursprungliga avrinningsområdesgränserna bevarats och det är endast avrinningsområdets koppling till de kommunala avloppsledningarna som har ändrats. För några avrinningsområden var det nödvändigt att dela de ursprungliga avrinningsområdena för att av-

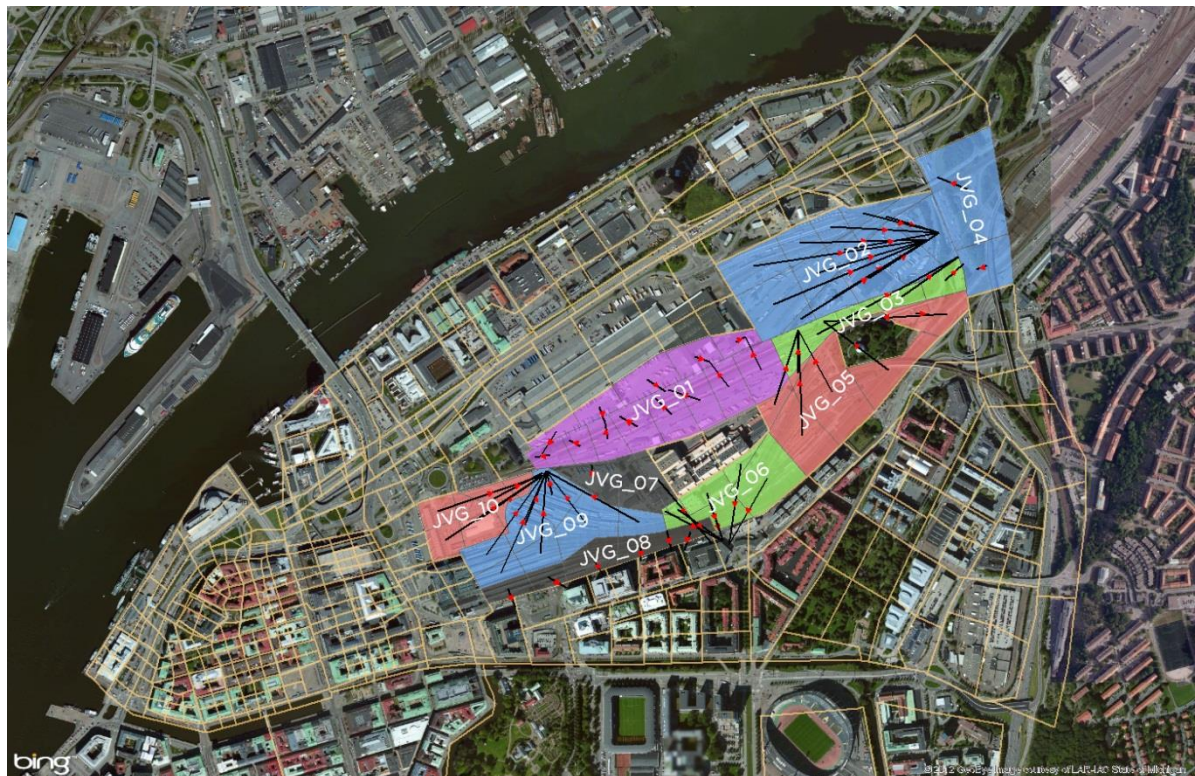
rinningsområdets utbredning skulle stämma överens med principskissen. Detta gäller främst avrinningsområde JVG_01 och JVG_06 – JVG_10.

De uppdaterade avrinningsområdena kopplades till avloppssystemet enligt den principiella skissen. Denna koppling är illustrerad med de svarta linjerna i figur 14. Avströmningstiden har också beräknats för de uppdaterade avrinningsområdena inne på järnvägsområdet.

Eftersom information saknas angående infiltrationområdena inne på järnvägsområdet, har det antagits att regnets intensitet vid ett 100 års regn är så pass hög att infiltrationen i dessa områden är liten i förhållande till den avrinning som bildas. Detta betyder att det kommer att avrinna något mindre vatten från järnvägsområdet än vad som använts i beräkningarna, den del av vatten som infiltreras i några av de interna avrinningsområdena inne på järnvägsområdet innan det transporteras ut till de kommunala avloppsledningarna har försumrats.



Figur 13 Principiella skiss av interna avrinningsområden från Trafikverket. De olika färgerna avgränsar avrinningsområdena.



Figur 14 Översikt av de avrinningsområden som har uppdaterats i Mike Urban modellen.

För att bedöma storleken på översvämningens förändring till följd av avrinning inom järnvägsområdet har en känslighetsanalys utförts där andelen hårdgjorda ytor varieras inom järnvägsområdet. I den första delen av analysen minskades andelen av hårdgjorda ytor med 50 % för att visualisera i vilka områden som översvämningarna eventuellt blir mindre, se tabell 7. I den andra delen ökas andelen hårdgjorda ytor med 100 % för att visualisera i vilka områden som översvämningarna blir större.

Scenario	Avrinningsområde	Hårdgjorda ytor	Andel hårdgjorda ytor
CDS100MW	56,3 ha	25,6 ha	45 %
CDS100MW, -50 %	56,3 ha	22,7 ha	23 %
CDS100MW, +100 %	56,3 ha	51,2 ha	91 %

Tabell 7 Översikt av avrinningsområden på järnvägsområdet i de olika scenarierna

När andelen hårdgjorda ytor minskas på järnvägsområdet minskar även den översvämmade ytan med 25 %. Den maximala volymen av det översvämmade vattnet minskar med 32 %.

Känslighetsanalysen visar att en minskning med 50 % av andelen hårdgjorda ytor inom järnvägsområdet innebär att översvämningdjupet minskar längs Gullbergsvassgatan (5-10 cm), i parken mellan Bergslagsgatan/Kruthusgatan (5-10 cm) samt på E6/E20 (15-20 cm).

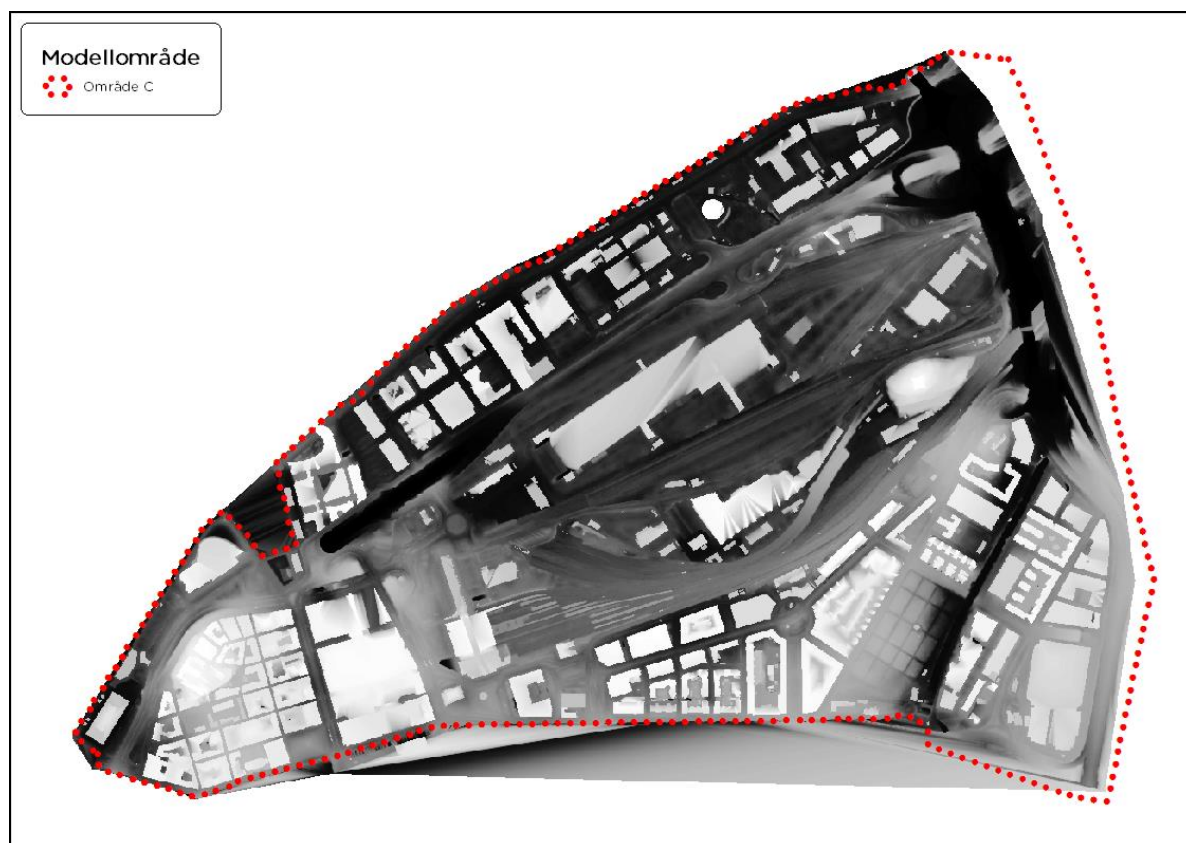
När andelen hårdgjorda ytor ökas på järnvägsområdet ökar den översvämmade ytan med 3 %. Den maximala volymen av översvämmat vatten stiger med 25 %.

Känslighetsanalysen visar att en ökning med 100 % av andelen hårdgjorda ytor inom järnvägsområdet innebär att översvämningdjupet ökar längs Gullbergsvassgatan (5-10 cm), i parken mellan Bergslagsgatan/Kruthusgatan (~15 cm), på järnvägsområdet söder om Kruthusgatan (~10 cm) samt på E6/E20 (30-40 cm). Översvämningdjupet blir också större i norra delarna av Stampen (~5 cm) och längs Gullbergsån (5-10 cm).

6.3 MIKE 21 – Översvämningsmodell

Kretslopp och vatten i Göteborgs Stad levererade en höjdmodell över hela Område C. Byggnader var rektifierade i höjdmodellen, se figur 15. Höjdmodellen levererades i upplösning 0,5 x 0,5 m och 1 x 1 m. Inledande tester med Mike Flood modellen visade att då upplösning på 1 x 1 m användes kunde inte simuleringen genomföras, eftersom modellen blev numeriskt instabil och påvisade orimligt höga vattennivåer. Flera simuleringsförsök genomfördes där parametrarna i kopplingen mellan Mike Urban och Mike 21 ändrades, för att en simulering skulle kunna genomföras med sannolika resultat, se tabell 8. Primärt var det Qdh faktorn som ändrades från 0,05 till 0,5 i de områden där översvämningsnivån vid simuleringen blev orimligt hög, detta för att dämpa transporten av vatten mellan MIKE Urban och MIKE 21 modellen. Därför genomfördes översvämningssimuleringen med en upplösning på 2 x 2 m, vilket i område C motsvarar 972 900 beräkningsceller.

En upplösning på 2 x 2 m skapade en numeriskt stabil simulering, samtidigt som detaljerna i terrängen kunde bevaras. Tiden för simulering reducerades också väsentligt. Teoretiskt minskar beräkningstiden till en fjärdedel, eftersom antalet celler minskar till en fjärdedel från en upplösning på 1 x 1 m till 2 x 2 m. Därutöver minskar antalet nödvändiga beräkningar av det s.k. Courant talet som är ett mått på hur numeriskt stabil simuleringen är. Detta gör att simuleringstiden blir mindre än en fjärdedel om upplösningen ändras från 1 x 1 m till 2 x 2 m.



Figur 15 Urban översvämningsmodell i för modellområde C

I kopplingen mellan MIKE Urban och MIKE 21 finns flera parametrar som kan varieras, se tabell 8. Den första anger vilken typ av koppling som ska användas. Det finns tre olika; Orifice Equation, Weir Equation och Exponent Function. *Orifice Equation* används normalt vid koppling av nedstigningsbrunnar, eftersom flödet beskrivs som en funktion av hur vattnet strömmar ut genom ett hål. I denna funktion definieras maxflöde (Max Flow) och hålets tvärsnittsarea (Inlet Area). MIKE Urban beräknar nedstigningsbrunnens tvärsnittsarea utifrån nedstigningsbrunnens diame-

ter. Om tvärsnittsarean av nedstigningsbrunnen är mindre än den Inlet Area som definierats, använts nedstigningsbrunnens tvärsnittsarea istället för den definierade Inlet Area. Detta används vid simulering av flödet från MIKE Urban till MIKE 21. *Weir Equation* används normalt då ett öppet dike i MIKE Urban kopplas till MIKE 21. Denna funktion beskriver flödet som en funktion av hur vatten rinner över en bräddkant. Eftersom vattnet i ett vattendrag rinner över vattendragets kant är detta en bra funktion att använda för vattendrag. Vattendrag har lång kant och vid en liten vattennivå över kanten finns stor möjlighet för vattnet att transporteras med denna funktion. Detta kan endast uppnås med samma funktion som för en bräddkant. När *Weir Equation* används ska kantlängden anges, en tumregel är att kantlängden ska motsvara avståndet mellan två noder i vattendraget. *Exponent Function* används inte i modellen.

Qdh faktorn är en stabilitets faktor som kan dämpa vattnets flöde mellan de två modellerna, vid instabilitet ändras faktorns värde först. Ursprungsvärdet är 0,05 men vid instabilitet kan detta manuellt stegvis ändras till 0,1, 0,2 eller 0,5.

Antalet kopplade celler kan även stabilisera simuleringen eftersom fler celler i MIKE 21modellen mottar vatten från avloppssystemet i MIKE Urban modellen. En tumregel är att koppla 4 celler i MIKE 21 modellen till varje nedstigningsbrunn i MIKE Urban modellen.

Parameter	Konstant
Coupling Method	Orifice Equation
Orifice coefficient	0,98
Max flow	0.5 m ³ /s
Inlet Area	5 m ²
Qdh faktor	0,05
Antal kopplade celler	4 st. (2 x 2 m)

Tabell 8 Parametrar för koppling mellan Mike Urban och Mike 21 modellen

I projektet Hydromodell för Göteborg uppdaterades MIKE 21 modellen stegvis allt eftersom ny information erhöles och djupare kunskap uppnåddes. I huvudsak har två stora uppdateringar gjorts. Den första var att skyddsbarriärerna till Götatunneln och Tingstadstunneln inte var korrekt projicerade i MIKE 21 modellen. Information från Trafikverket gjorde det möjligt att uppdatera MIKE 21 modellen för att få dessa korrekt projicerade. Den andra uppdateringen var att teoretiskt invalla hela Område C, för att skydda detta mot översvämning från Göta Älv. Med denna invallning var det möjligt att separat titta på konsekvenserna för avloppssystemet eftersom vattnet inte kunde komma ut till Göta Älv vid högvatten i älven.

Eftersom uppdateringar av MIKE 21 modellen har gjorts stegvis är det viktigt att vara uppmärksam på beskrivningen av varje modell för att förstå vilka uppdateringar som är gjorda i MIKE 21 modellen, se tabell 14.

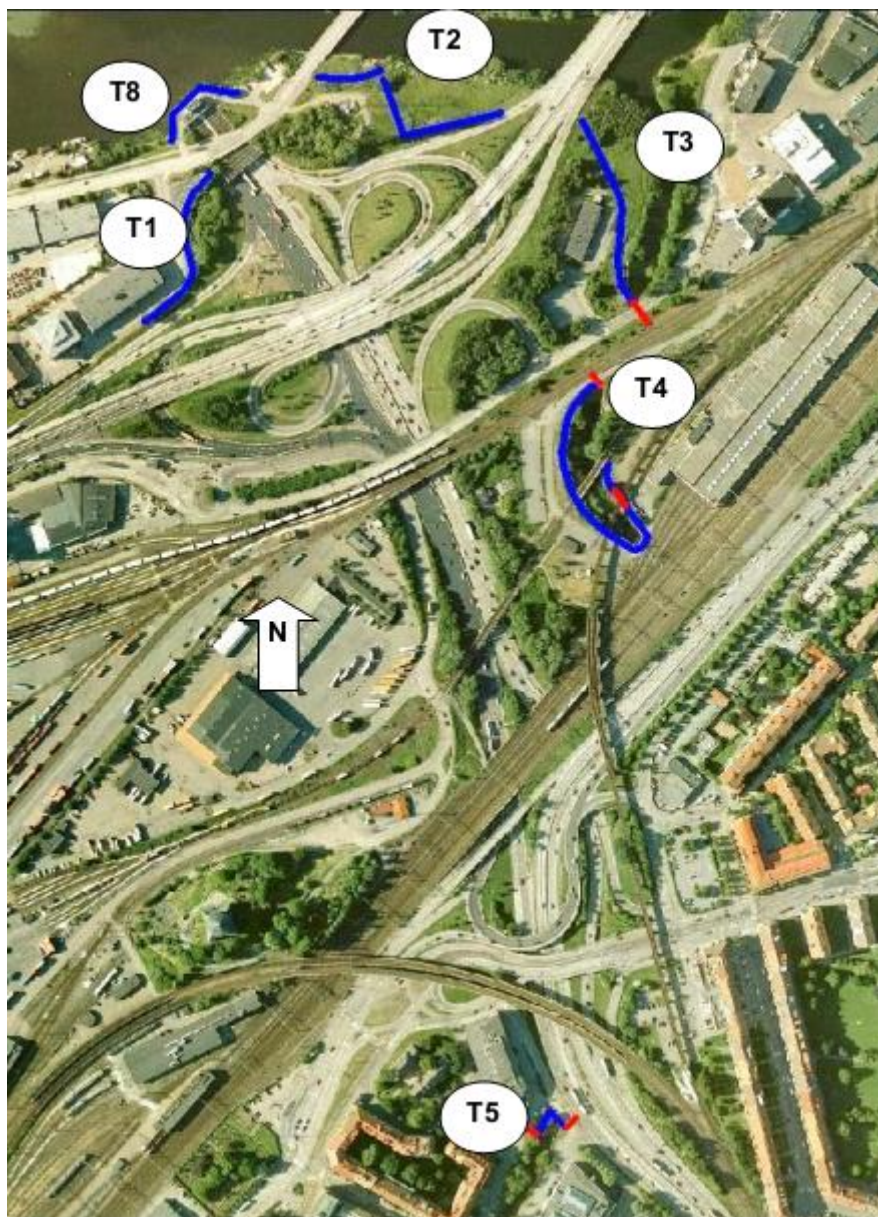
6.3.1 Skyddsbarriärer för infrastruktur

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

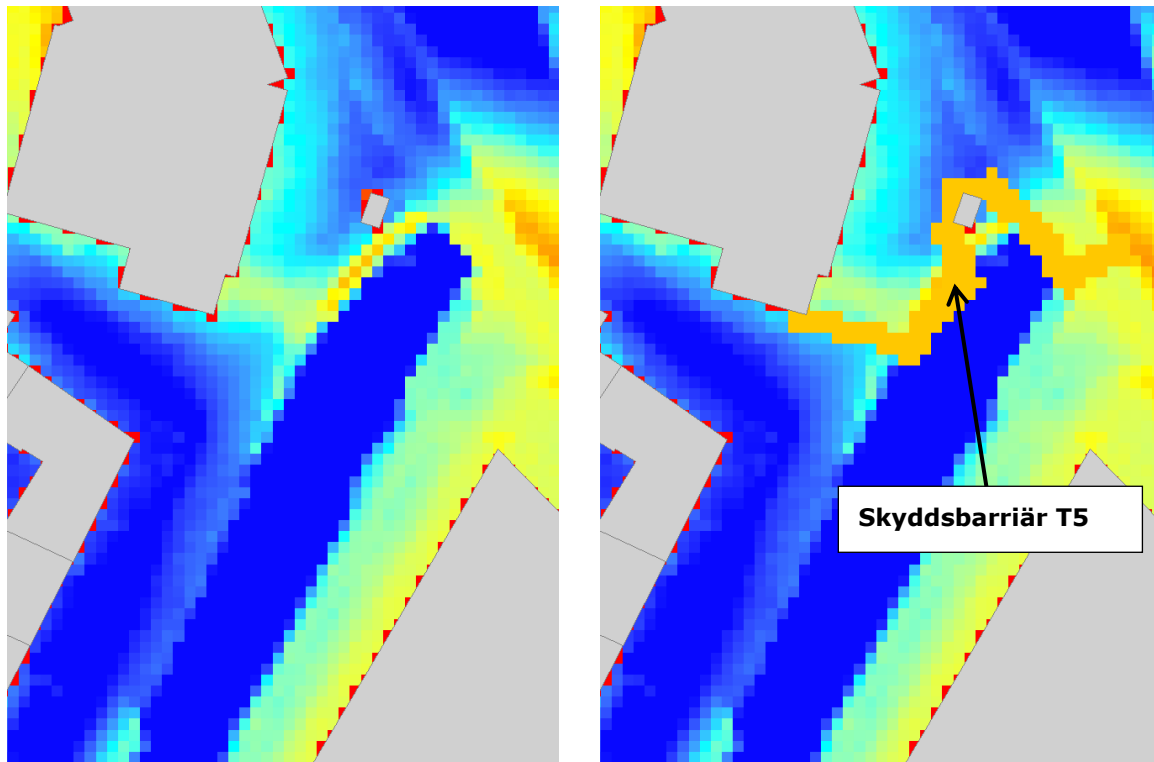
För Götatunnelns och Tingstadstunnelns skyddsbarriärer har information hämtats ur Trafikverkets rapport "Instruktioner - Åtgärder vid högt vatten och hård vind". I rapporten beskrivs olika beredskapslägen och vilka barriärer som är permanenta respektive mobila barriärer.

Skyddsbarriärerna T1, T2, T8 för Tingstadstunneln beskrevs redan i Mike 21 modellen, se figur 16. 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 17.

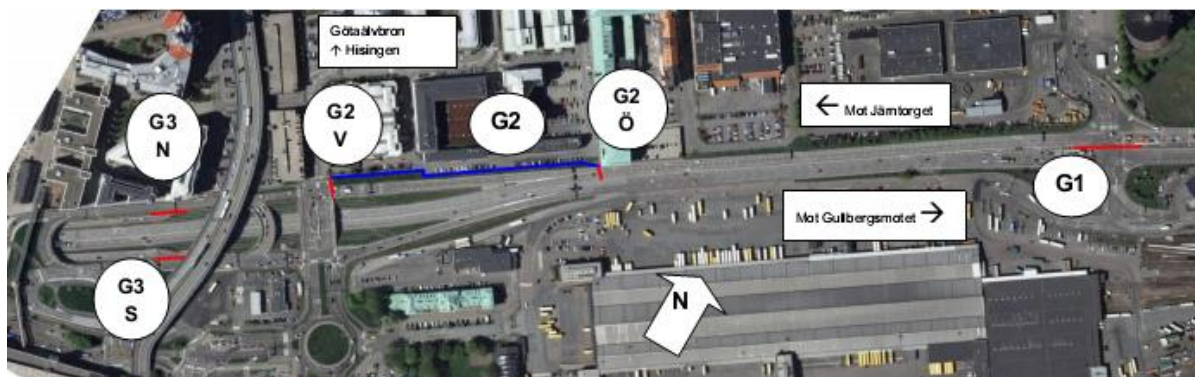


Figur 16 Permanenta och mobila skyddsbarriärer för den södra infarten till Tingstadstunneln i Göteborg. De blå skyddsbarriärerna är permanenta och de röda är mobila. Bild: Trafikverket.

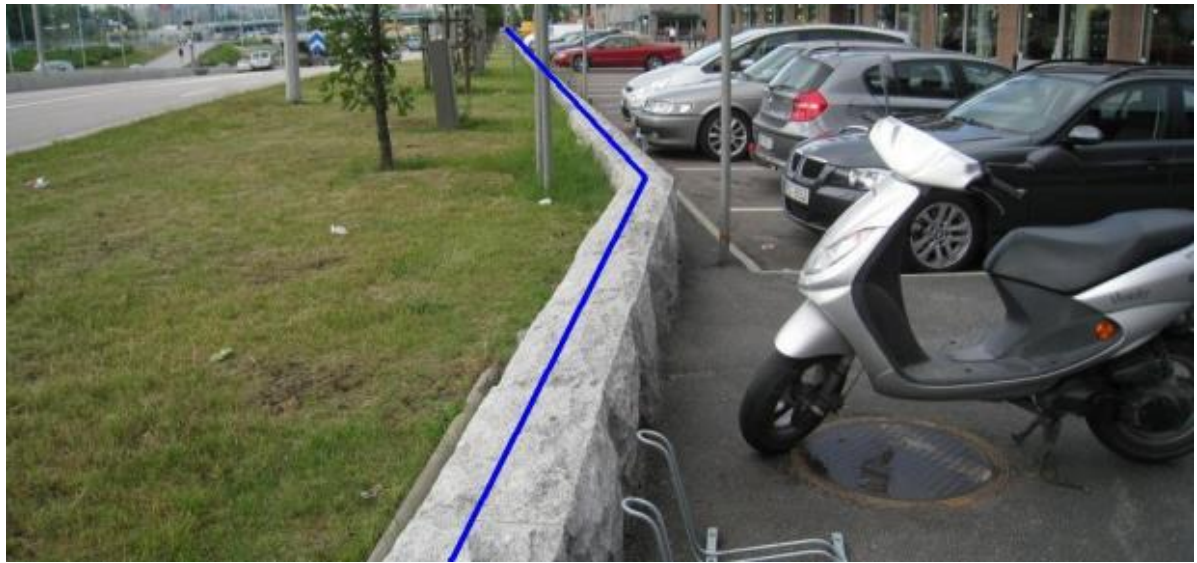


Figur 17 Mike 21 modellen före och efter ändring av skyddsbarriär T5 i Norra Ågata och Gullbergsgatagata. De grå polygonerna är byggnader. Blå färg indikerar låg terräng och röd färg indikerar hög terräng.

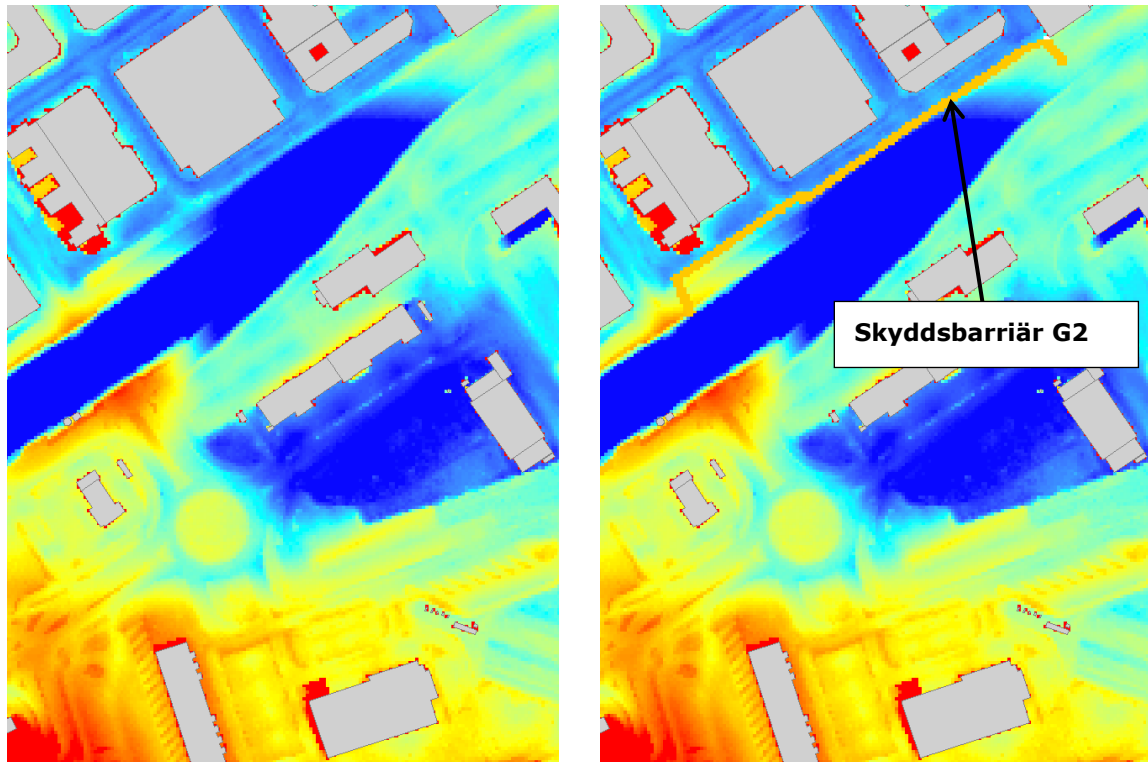
Den permanenta skyddsbarriären G2 var inte beskriven i Mike 21 modellen, eftersom den är så smal, se figur 18, figur 19 och figur 20. Denna skyddar rampen ner till Götatunneln, genom att hindra vatten från att komma ut på Mårten Krakowgatan. Skyddsbarriärerna G2 V och G2 Ö är mobila barriärer som sätts upp över Mårten Krakowgatans norra vägbana. Barriärerna har beskrivits i Mike 21 modellen.



Figur 18 Permanenta och mobila skyddsbarriärer för den östra infarten till Götatunneln i Göteborg. De blå skyddsbarriärerna är permanenta och de röda är mobila. Bild: Trafikverket.

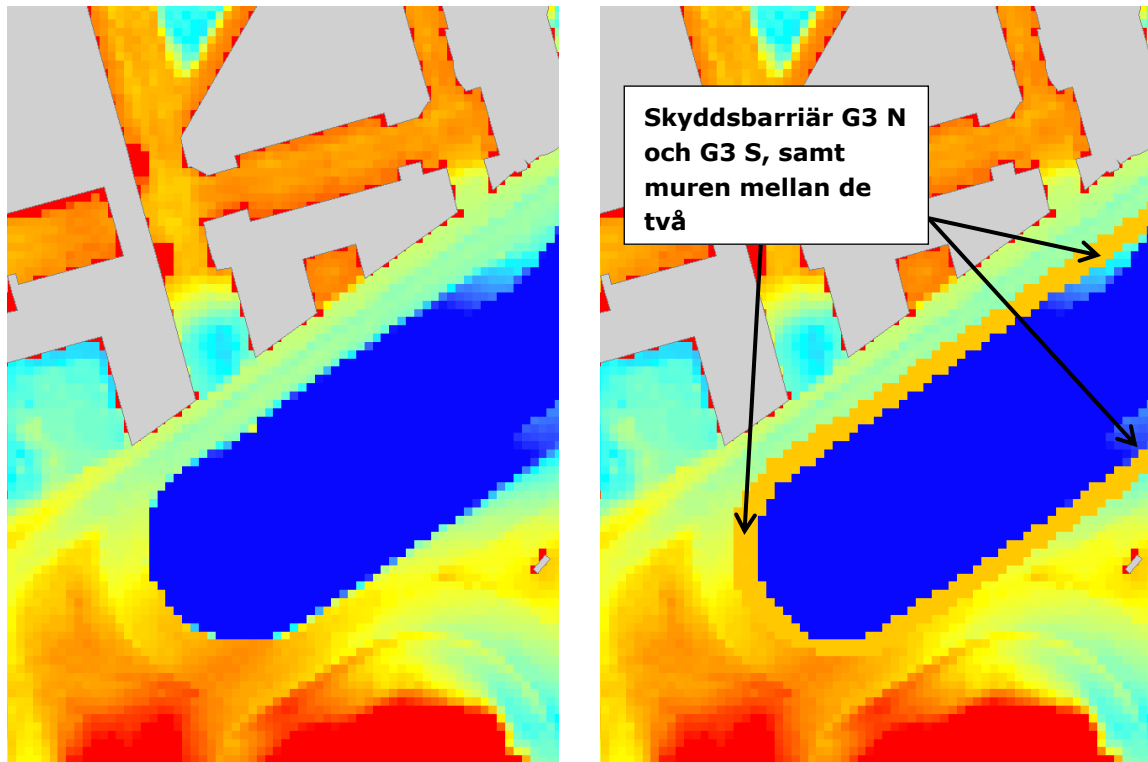


Figur 19 Den permanenta skyddsbarriären G2 för den östra infarten till Götatunneln i Göteborg. Bild: Trafikverket.



Figur 20 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 18, lades även den in i Mike 21 modellen, se figur 18 och figur 21.



Figur 21 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.

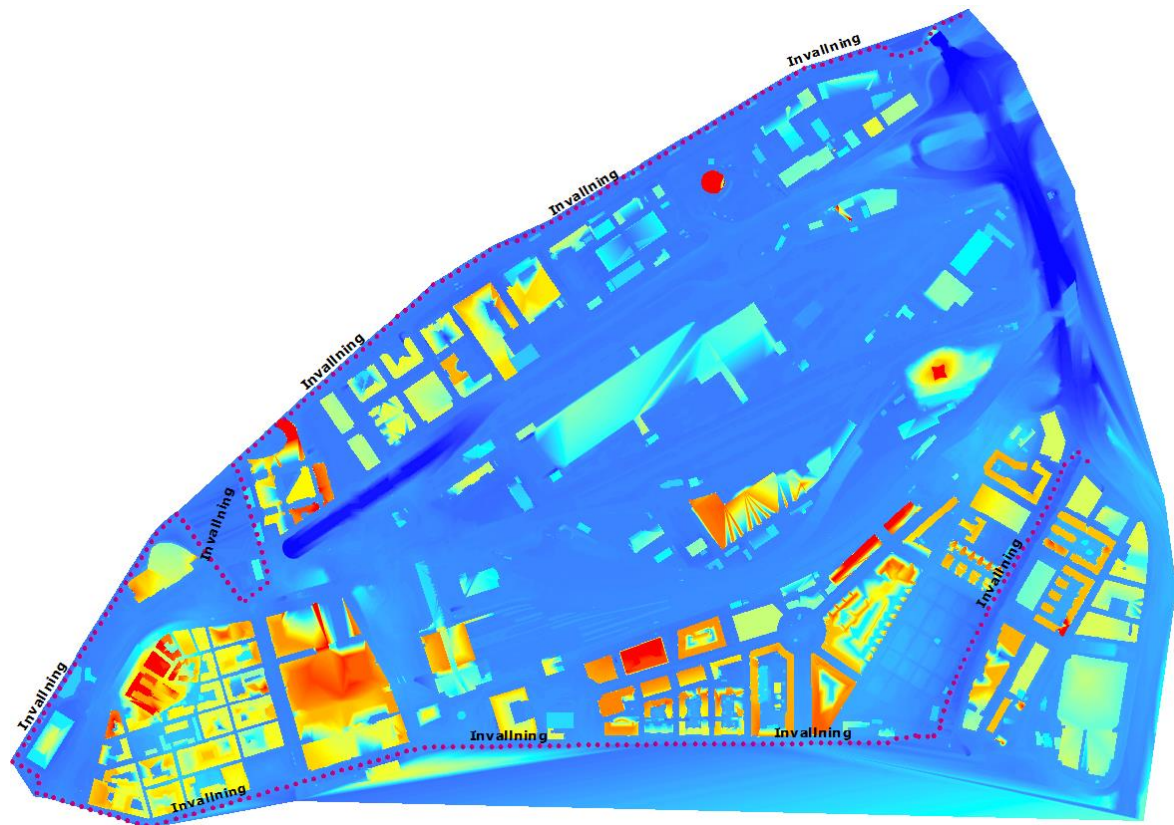
Detaljerad information om nödpumparnas kapacitet i tunnlarna har inte varit tillgänglig. Enligt uppgift från beställaren har Götatunneln uppskattningsvis en nödpumpkapacitet på $6 \text{ m}^3/\text{s}$. I brist på uppgift har nödpumpkapaciteten för Tingstadstunneln antagits vara lika stor som för Götatunneln. Vid en högvattensituation har båda tunnelmynningarna för såväl Götatunneln som Tingstadstunneln bedömts ha lika stor översvämningsrisk. Därför har antagits att Götatunnelns östra tunnelmynning har en nödpumpkapacitet på $3 \text{ m}^3/\text{s}$, eftersom de resterande $3 \text{ m}^3/\text{s}$ används för att pumpa bort vatten som rinner ner via den västra tunnelmynningen. Samma resonemang appliceras på Tingstadstunneln.

Modelltekniskt har två brunnar och en ledning lagts i det lägsta området av nedkörningsrampen till Götatunneln och Tingstadstunneln. Marknivån i brunnarna har satts enligt nivån i Mike 21 modellen. Bottennivån i brunnarna har satts till 2,1 m under markytan. Brunnarnas diameter har satts till 5 m, dels för att få en stabilare utpumpning men också för att simulera den volym som pumpsumpen har i den verkliga pumpstationen. Brunnarna har därefter kopplats till Mike Flood modellen så att vatten som rinner ner i tunnlarna kan komma ner i brunnarna och pumpas ut i Göta Älv. Ledningen mellan brunnarna har en dimension på 2000 mm.

6.3.2 Invallning av området

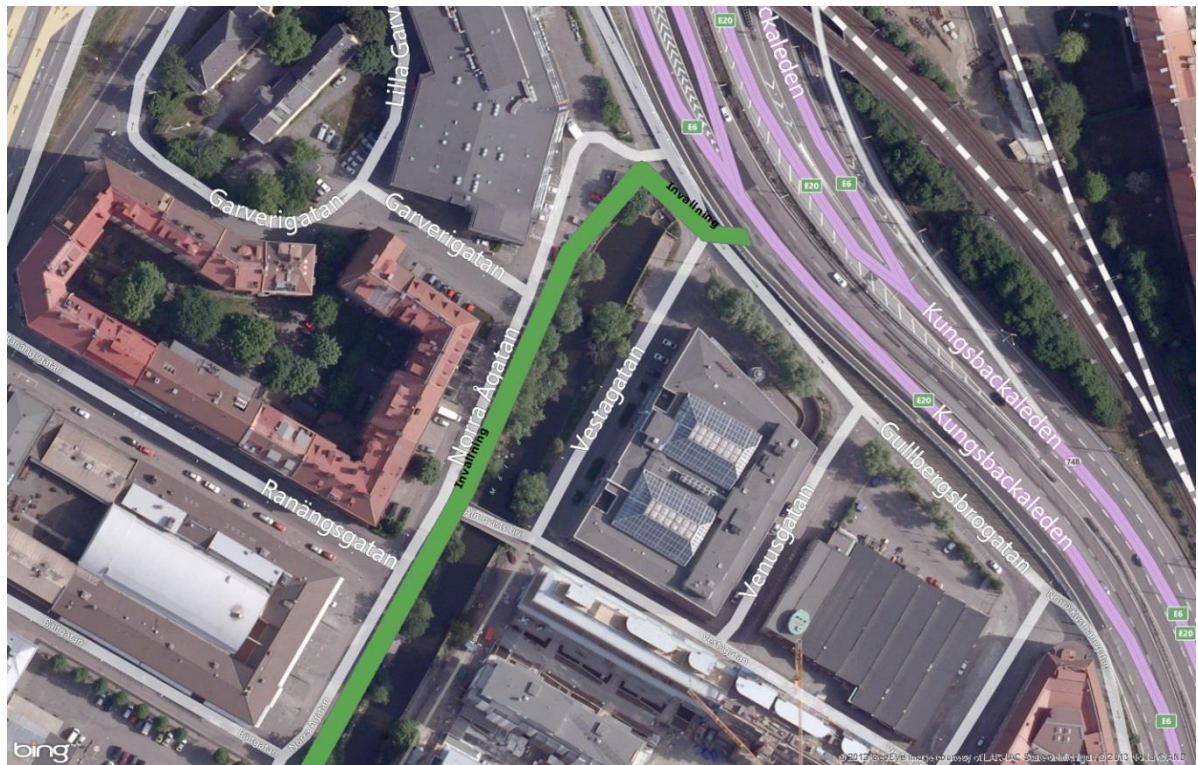
Eftersom Götatunneln och Tingstadstunneln är säkrade upp till +2,5 m RH2000, läggs invallningens överkant runt Område C lika högt. En GIS analys av höjdmodellen visade var invallningen skulle placeras. Invallningen börjar vid Tingstadstunneln och löper längs kajen ner mot Lilla Bommen och in runt Lilla Bommens Gästhamn och vidare ner mot Packhuskajen, se figur 22. Därefter går invallningen längs den södra sidan av Norra Hamngatan, Stampgatan och Lilla Stampgatan. Längs Stampgatan finns även en sträckning som redan idag ligger över +2,5 m RH2000 och här är det inte nödvändigt att etablera någon invallning. Den sista sträckningen av invallningen går längs den västra sidan av Gullbergsån, hela vägen upp till Gullbergsbrogata.

Invallningen har i största möjliga mån lagts längs vägar och i andra områden där det inte finns byggnader. Ingen hänsyn har tagits till att invallningen korsar vägar, broar osv. En eventuell framtida projektering får utvisa var och hur en invallnings ska utformas.



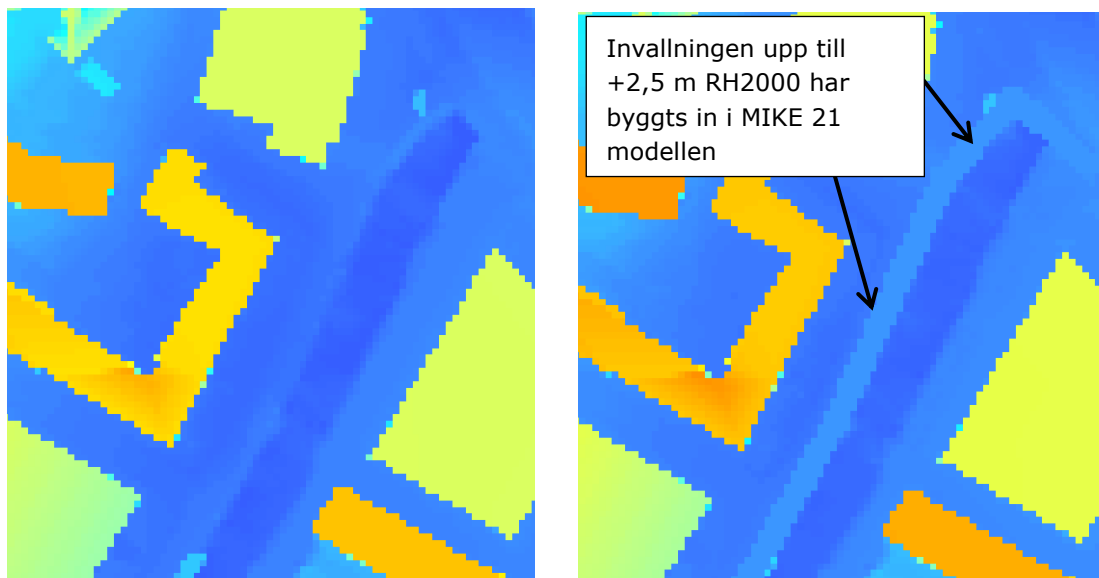
Figur 22 Den prickade linjen visar den simulerade invalningen upp till +2,5 m RH2000 som har använts i översvämningsberäkningen.

Invallningen runt Område C har antagits etablerad som en jordvall, men i verkligheten kommer denna konstruktion att kombineras med betongmurar och portar. För att kunna ändra höjden i MIKE 21 modellen har en 6 m bred polygon ritats, som svarar till den jordvall som måste etableras för att skapa invalningen, se figur 23. Jordvallens nödvändiga höjd för att uppnå en invalning till +2,5 m RH2000 varierar dock längs invalningen och därmed varierar även den nödvändiga bredden av jordvallen.



Figur 23 Den gröna ytan visar den simulerade invallningen upp till +2,5 m RH2000 som är använd i översvämningssberäkningen längs Gullbergsån, söder om Kungsbackaleden.

I en GIS analys höjs cellerna i MIKE 21 modellen längs polygonen till +2,5 m RH2000. Figur 24 visar exempel på hur höjden har ändrats i höjdmodellen för att simulera invallningen längs Gullbergsån söder om Kungsbackaleden.



Figur 24 MIKE 21 modellen före och efter att den simulerade invallningen upp till +2,5 m RH2000 är inlagd längs Gullbergsån, söder om Kungsbackaleden.

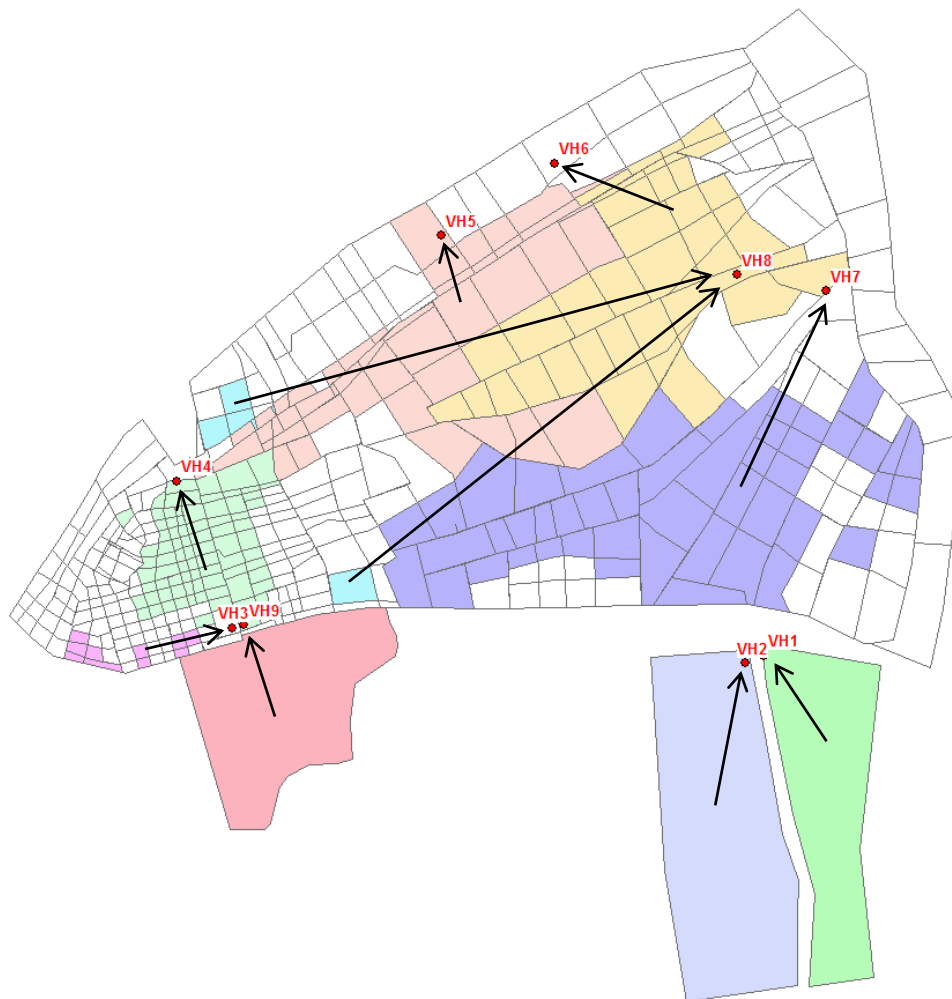
7. KALIBRERING

7.1 Mätkampanj och genomförande

För att kunna utföra kalibrering har DHI på uppdrag av Kretslopp och vatten i Göteborgs stad installerat totalt nio nivå- och hastighetsmätare i avloppssystemet i Område C, med start från den 26 juni 2013 och avslut den 4 september 2013, se tabell 9 och figur 25. DHI har därefter beräknat flöde utifrån nivå och hastighetsmätningarna. I område C har även nederbörd registrerats med s.k. vippmätare vid Drakegatan, Lilla Bommen och Skansen Lejonet.

Mätpunkt	Plats	Dimension	Avloppssystem
VH1	Åvägen	1200 mm	Kombinerat
VH2	Levgrensvägen	1500 mm	Kombinerat
VH3	Norra Hamngatan	900 mm	Kombinerat
VH4	Christina Nilsson Gata	1800 mm	Dagvatten
VH5	Trollhätttegatan	1380 mm	Dagvatten
VH6	Falutorget	1340 mm	Dagvatten
VH7	Kungsbackaleden	1800 mm	Kombinerat
VH8	Gullbergsvassgatan	900 mm	Spillvatten
VH9	Östra Hamngatan	800 mm	Spillvatten

Tabell 9 Mätpunkter för nivå och hastighet i avloppssystemet i Göteborg



Figur 25 De avrinningsområden som ligger uppströms en av de 9 mätpunkterna har markerats med olika färger. Samma färg indikerar att de ligger uppströms samma mätpunkt.

Modellen från Kretslopp och vatten simulerades med uppmätt regn mellan den 27 juni och 18 augusti 2013, för att jämföra simulerat och uppmätt flöde. Efter genomförd simulering har avrinningsområdenas parametrar ändrats i modellen, för att återskapa liknande flödesmönster som det uppmätta flödet visar. Denna process har upprepats flera gånger för att kalibrera modellen mot det uppmätta flödet i avloppssystemet.

Andelen hårdgjorda ytor för avrinningsområdena har ändrats för att den simulerade och uppmätta volymen vatten genom systemet ska vara så lika som möjligt, se tabell 10. Koncentrationstiden för avrinningen har ändrats för att flödestopparna ska uppstå vid samma tidpunkt i simuleringen som i det uppmätta flödet. För några avrinningsområden har en konstant vattenföring lagts till för att simulera tillskottsvatten som finns i avloppssystemet.

I samråd med Kretslopp och Vatten (arbetsmöte i projektet Hydromodell för Göteborg den 20 september 2013) beslutades att primärt genomföra kalibreringen för anpassning till regnhändelsen den 27 juli 2013. Detta beslut togs eftersom regnet den 27 juli 2013 motsvarar en regnhändelse med ca 20 års återkomsttid och för att modellen primärt ska användas till simuleringar av extrema regnhändelser som innebär att även icke hårdgjorda ytor bidrar avrinning till avloppssystemet.

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	16.0	5.6	35%	16.0	8.0	50%	210 l/s	43%
VH2	25.1	8.8	35%	25.1	18.8	75%	40 l/s	114%
VH3	1.2	0.8	64%	1.2	0.7	59%	0	-9%
VH4	11.0	8.4	77%	11.0	9.2	84%	0	9%
VH5	29.6	23.1	78%	29.6	17.2	58%	0	-25%
VH6	33.4	21.6	65%	33.4	20.2	61%	0	-7%
VH7	45.4	22.3	49%	45.4	22.3	49%	0	0%
VH8	2.3	1.4	62%	2.3	1.4	62%	0	0%
VH9	17.8	13.4	75%	17.8	3.6	20%	20 l/s	-73%
Total	181.7	105.4	58%	181.7	103.0	57%	270 l/s	-2%

Tabell 10 Ändrade egenskaper för avrinningsområdena uppströms respektive mätpunkt (Red. = Reducerad).

7.2 Kalibreringsresultat

Kalibreringen har, enligt tidigare förklaring, primärt genomförts mot regnhändelsen den 27 juli 2013. Därutöver visas även två andra regnhändelser, den 29 juni 2013 och 10 augusti 2013, , eftersom de också gav upphov till stora flöden genom avloppssystemet. Kalibreringsresultatet för de nio mätpunkterna vid dessa tre regnhändelser presenteras i tabell 11. Grafer för simulerat och uppmätt flöde den 27 juli 2013 presenteras i bilaga 2.

I projektet Hydromodell för Göteborg efterfrågades att fel i volym och flödespeak maximalt skulle vara 10 %. Dessa krav uppnås för VH1 och VH2 i både volym och peak. VH4, VH5, VH6 och VH9 uppfyller kravet för peak, men inte för volym. VH7 uppfyller kravet för volym, men inte för peak. De övriga ligger utanför kravet både i peak och i volym.

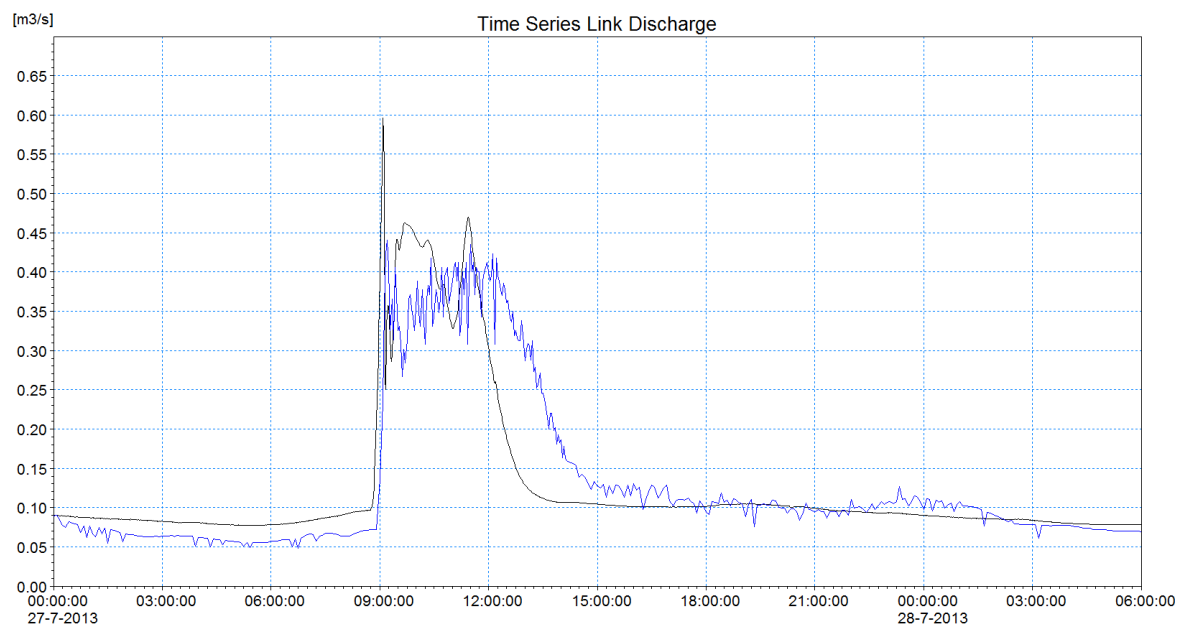
I mätpunkt VH3 simuleras negativt flöde i flera av regnhändelserna, vilket inte kan avläsas från flödesmätningarna. Nedströms VH3, som är en 900 mm ledning, går denna ihop med en 800 mm ledning, vilket är den ledning som mätare VH9 har suttit i. Efter skarvning har ledningen en dimension på 600 mm, vilket skulle kunna medföra dämning upp till VH3, men dimensionen på ledningen har bekräftats av Kretslopp och Vatten. I samråd med Kretslopp och Vatten har beslutats, att även om VH3 inte visar ett tillfredställande kalibreringsresultat, så kan modellen användas till översvämningsberäkningar då avrinningsområdet till VH3 är litet.

VH6 simuleras bra i själva peaken, men peakens svans är oregelbunden i förhållande till det uppmätta flödet. Mätpunkten är installerad under vattenytan och tillförlitligheten på mätpunktens resultat för peakens svans har i samråd med beställaren värderats som låg och därför har inget extra arbete lagts på att beskriva peakens svans bättre.

I mätpunkt VH8 simuleras en peak tidigt i regnhändelsen, som inte återfinns i det uppmätta flödet, se figur 26. I början av den flödespeak som simuleras återfinns också en hög flödespeak som inte kan utläsas från flödesmätningen. Orsaken till dessa två peakar kan inte förklaras, men försök har gjorts för att minska peaken, genom att lägga till en bassäng uppströms VH9. I övrigt stämmer den simulerade peakens form överens med det uppmätta flödet i VH8.

Mätpunkt	2013-06-29		2013-07-27		2013-08-10	
	Peak	Volym	Peak	Volym	Peak	Volym
VH1	-13 %	-11 %	-3 %	-6 %	-11 %	-4 %
VH2	-43 %	-12 %	-8 %	3 %	-40 %	17 %
VH3	64 %	-20 %	-58 %	-45 %	62 %	-39 %
VH4	30 %	8 %	-1 %	-15 %	-10 %	-1 %
VH5	-22 %	-54 %	2 %	-43 %	41 %	-58 %
VH6	-8 %	216 %	0 %	103 %	-23 %	200 %
VH7	-7 %	-21 %	18 %	-7 %	12 %	-11 %
VH8	62 %	17 %	57 %	17 %	34 %	16 %
VH9	-	-	-4 %	18 %	-12 %	-20 %

Tabell 11 Kalibreringsresultat för tre utvalda regnhändelser



Figur 26 Kalibreringsresultat för mätpunkt VH8 den 27 juli 2013. Den svarta grafen visar simulerat flöde i modellen och den blå grafen visar uppmätt flöde.

8. GENOMFÖRDA SIMULERINGAR

I projektet Hydromodell för Göteborg har totalt 8 unika simuleringar genomförts, se tabell 12. Simulering utan regn har endast simulerats med MIKE 21 modellen, men simulering med regn har simulerats med en MIKE Flood modell bestående av en kopplad MIKE Urban och MIKE 21 modell.

Medelvattennivån, MW, motsvarar enligt [Parameterlista] en vattennivå på +0,15 m i Göta Älv i höjd med Eriksberg. Detta baseras på en beräkning av gradienten i vattennivån i Göta Älv i Göteborgsgrenen. Högsta högvatten, HHW, motsvarar enligt [Parameterlista] en vattennivå på +1,85 m i Göta Älv, vilket motsvarar en återkomsttid på 200 år 2014. Havsnivåpeaken motsvarar en peak som startar på +1,35 m och stiger till +2,55 m under 13 timmar och som sedan sjunker tillbaka till +1,35 m under 13 timmar. Detta motsvarar en återkomsttid på 200 år 2100.

Älvnivå	Inget regn	CDS 10 år	CDS 100 år	CDS 500 år
Rosenlund, MW, +0,15 m	-	X	X	X
Rosenlund, HHW, +1,85 m	X	X	X	X
26 timmars havsnivåpeak	X	-	-	-

Tabell 12 Sammanställning av genomförda simuleringar i projektet Hydromodell för Göteborg

För varje resultat har en kartbilaga skapats. Tabell 13 visar vilken kartbilaga som hör till varje simulering. Det finns fler kartbilagor som visar samma simuleringsresultat med samma randvillkor, men dessa ska ses som de mest representativa.

Simulering	Kartbilaga
CDS 10 års regn, MW	1320001782-08-23
CDS 100 års regn, MW	1320001782-08-16
CDS 500 års regn, MW	1320001782-08-24
CDS 10 års regn, HHW	1320001782-08-25
CDS 100 års regn, HHW	1320001782-08-14
CDS 500 års regn, HHW	1320001782-08-26
HHW utan regn	1320001782-08-11
26 timmars havsnivåpeak	1320001782-08-12

Tabell 13 Sammanställning av kartbilagor som visar resultatet av de genomförda simuleringarna

I projektet Hydromodell för Göteborg har både MIKE Urban och MIKE 21 modellen stegvis uppdaterats allteftersom ny information erhöles och ny erfarenhet nåddes. Eftersom dessa uppdateringar har gjorts stegvis är det viktigt att vara uppmärksam på beskrivningen av varje modell för att förstå vilka uppdateringar som har gjorts i modellerna. I tabell 14 finns en översikt av alla uppställda modeller och vilka uppdateringar som har gjorts i respektive modell. Nedan finns en lista på förkortningar som används för att tydliggöra skillnaderna mellan modellerna i tabellen.

KAL = Kalibrerad

WL = Vattennivå i recipient

UDT = Uppdaterat ledningssystem

INV = Invallning. MW = Medel vatten +0,15 m. HHW = Högsta högvatten +1,85 m.

BAR = Skyddsbarriärer för Götatunneln och Tingstadstunneln

JVR = Uppdaterat järnvägsområde

PST = Pumpstationer för nödpumpning av Götatunneln och Tingstadstunneln är inlagda

Modell	Beskrivning	KAL	WL	UDT	INV	BAR	JVR	PST
C_Status	Mottagen modell från Kretslopp och Vatten							
C_100	Kalibrerad modell	X						
C_200	Ledningssystemet i modellen är uppdaterat, eftersom några ledningar saknades.	X	MW	X				
C_201	Ledningssystemet i modellen är uppdaterat, eftersom några ledningar saknades.	X	HHW					
C_202	Modell med invallning	X	MW	X	X			
C_203	Modell med invallning	X	HHW	X	X			
C_204	Modell med skyddsbarriärer	X	MW	X		X		
C_205	Modell med skyddsbarriärer	X	HHW	X		X		
C_206	Simulering endast i MIKE 21 modellen		MW					
C_207	Simulering endast i MIKE 21 modellen		HHW					
C_208	Modell med skyddsbarriärer och nya avrinningsområden för järnvägsområdet	X	MW	X		X	X	
C_209	Modell med skyddsbarriärer och nya avrinningsområden för järnvägsområdet	X	HHW	X		X	X	
C_210	Modell med skyddsbarriärer och nya avrinningsområden för järnvägsområdet. Andelen hårdgjorda ytor på järnvägsområdet minskas med 50 %	X	MW	X		X	X	
C_211	Modell med skyddsbarriärer och nya avrinningsområden för järnvägsområdet. Andelen hårdgjorda ytor på järnvägsområdet ökas med 100 %	X	MW	X		X	X	
C_212	Modell med invallning och nya avrinningsområden för järnvägsområdet. Pumpstationer för nödpumpning i Götatunneln och Tingstadstunneln.	X	MW	X	X		X	X
C_213	Modell med invallning och nya avrinningsområden för järnvägsområdet. Pumpstationer för nödpumpning i Götatunneln och Tingstadstunneln.	X	HHW	X	X		X	X

Tabell 14 Översikt av alla uppställda modeller och vilka uppdateringar som är gjorda i respektive modell.

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 lägre återkomsttid. Om syften med simuleringen är att beskriva regnhändelser med lägre 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 förbättra resultaten av simuleringar för modellområde C bör utveckling av indata till modellen utföras. De viktigaste beskrivs nedan.

Järnvägsområdet utgör en stor andel av Område C och det interna avloppssystemet har inte beskrivits i MIKE Urban modellen. Därmed simuleras inte översvämningar på grund av begränsningar i avloppssystemet inne på järnvägsområdet. Det interna avloppssystemet på järnvägsområdet finns inte sammanställt eller digitaliserat. Det ansågs vara för tidskrävande att samla in tillräcklig information angående det interna avloppssystemet. Underlag finns på ritningar, men på grund av att det byggts om och byggts ut under många år finns inget sammanställt underlag för hela järnvägsområdet tillgängligt. Trafikverket menade att under den närmaste framtid kommer eventuellt ett digitalt underlag att skapas och om detta sker blir det därmed möjligt att detaljera järnvägsområdet med det interna avloppssystemet.

Vid tunnelöppningarna för Götatunneln och Tingstadstunneln simuleras högra vattennivåer på grund av att själva tunnlarna inte är beskrivna i MIKE Urban modellen. Om dessa hade beskrivits grovt i modellen skulle vattennivåerna vid tunnelöppningarna bli lägre eftersom vattnet skulle kunna rinna ner i tunnlarna.

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

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 två kartbilagor som beskriver avrinningsområden i modellområdet C.

1320001782-08-88

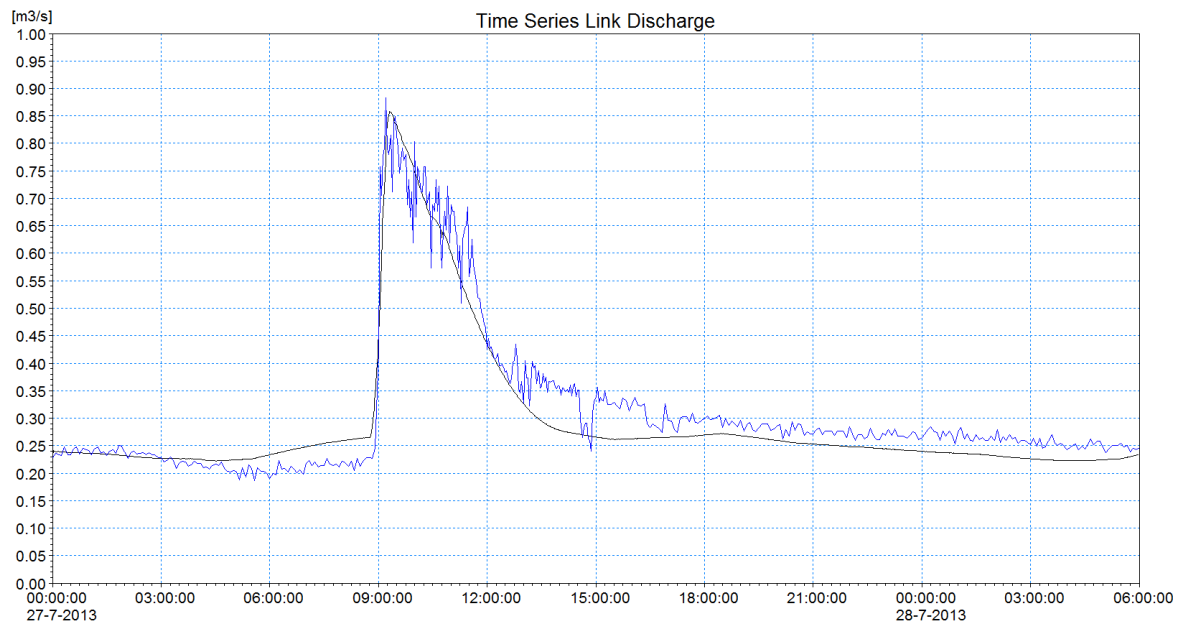
1320001782-08-95

Utöver denna kartbilaga finns även kartbilagor som tillhör olika simuleringsuppdrag från projektet Hydromodell för Göteborg. Flera simuleringar av olika scenarier har genomförts, men kartbilagorna i nedanstående tabell bedöms vara de mest representativa resultaten för varje scenario.

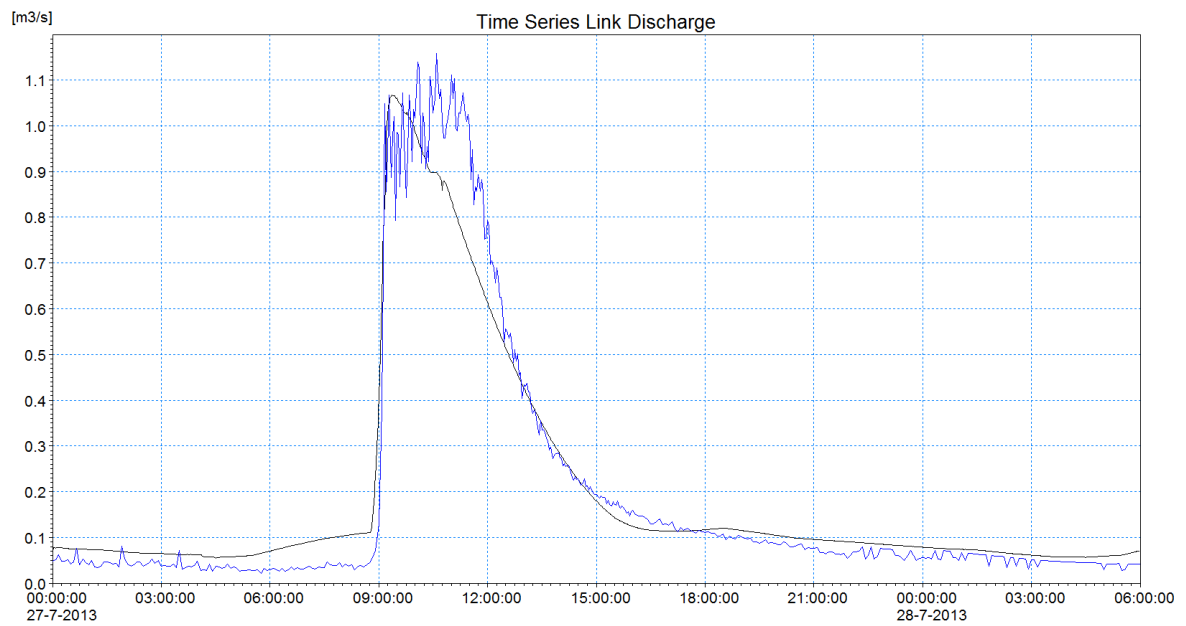
Scenario	Kartbilaga
CDS 10 års regn, MW	1320001782-08-23
CDS 100 års regn, MW	1320001782-08-16
CDS 500 års regn, MW	1320001782-08-24
CDS 10 års regn, HHW	1320001782-08-25
CDS 100 års regn, HHW	1320001782-08-14
CDS 500 års regn, HHW	1320001782-08-26
HHW utan regn	1320001782-08-11
24 timmars havsnivåpeak	1320001782-08-12

BILAGA 2

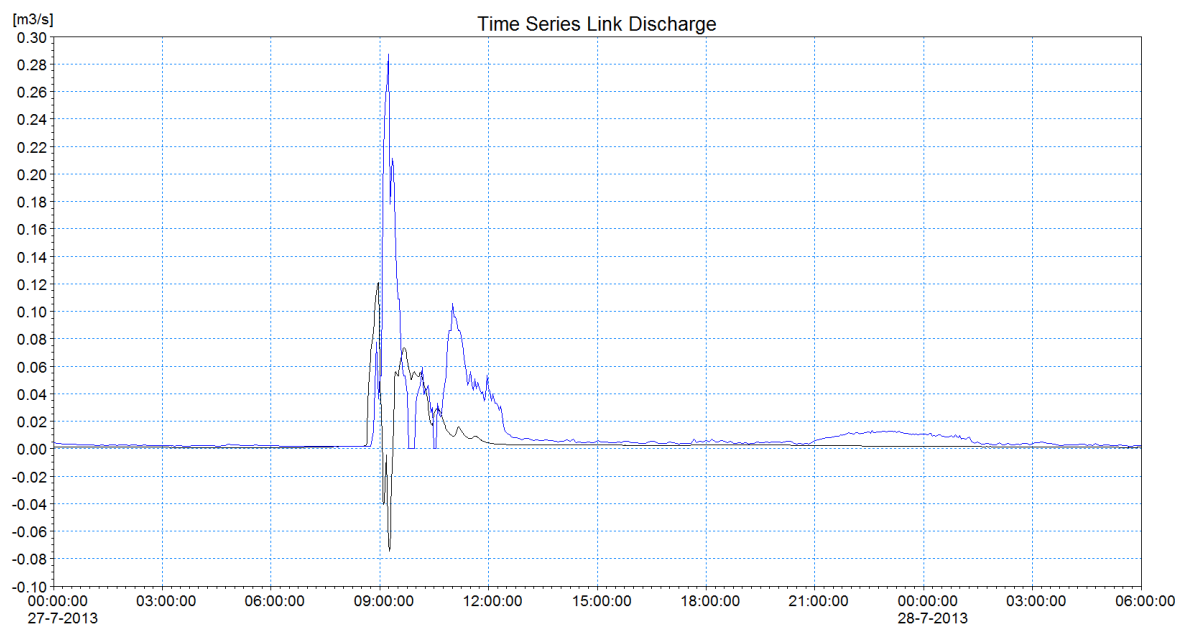
GRAFER MED KALIBRERINGSRESULTAT



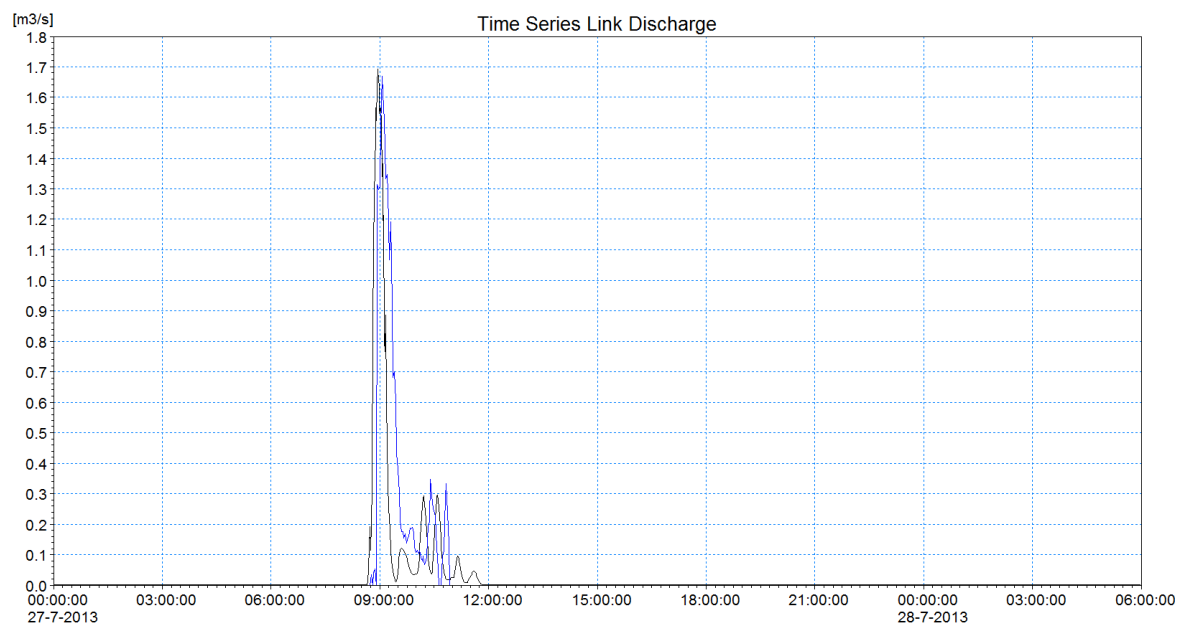
Kalibreringsresultat för mätpunkt **VH1** den 27 juli 2013. Den svarta grafen visar simulerat flöde i modellen och den blå grafen visar uppmätt flöde.



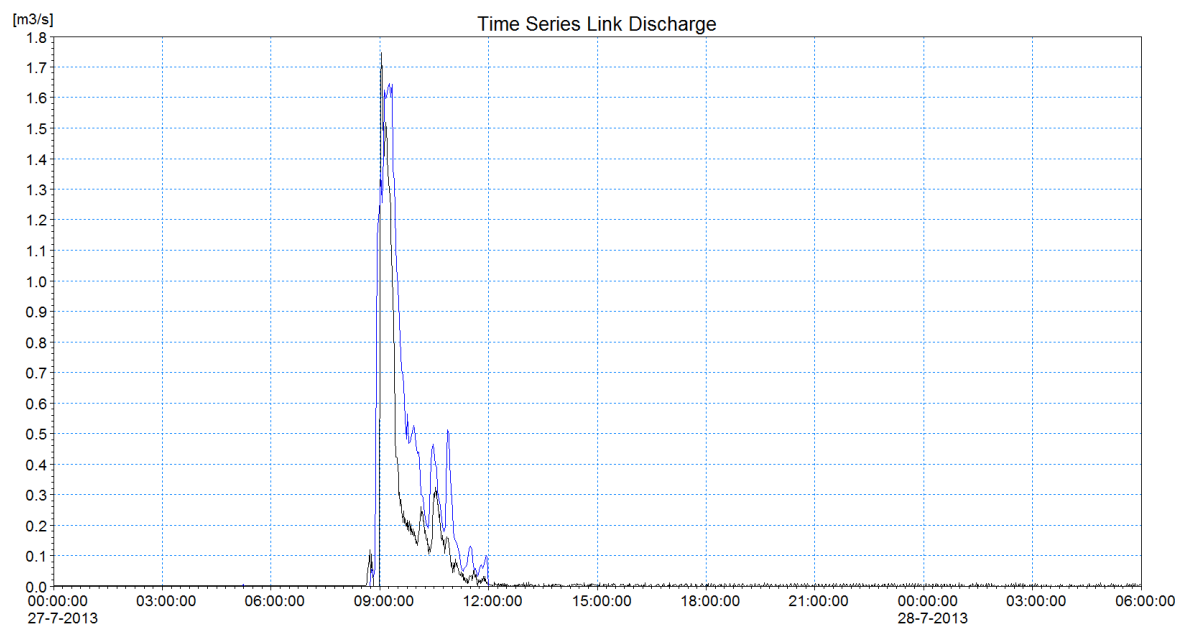
Kalibreringsresultat för mätpunkt **VH2** den 27 juli 2013. Den svarta grafen visar simulerat flöde i modellen och den blå grafen visar uppmätt flöde.



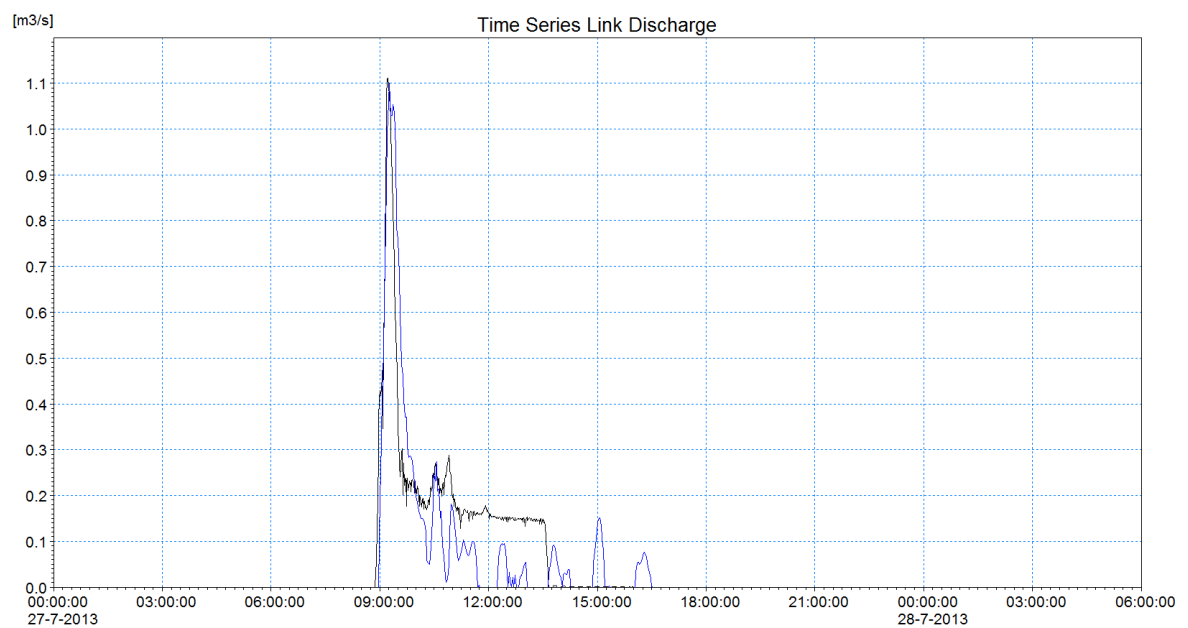
Kalibreringsresultat för mätpunkt **VH3** den 27 juli 2013. Den svarta grafen visar simulerat flöde i modellen och den blå grafen visar uppmätt flöde.



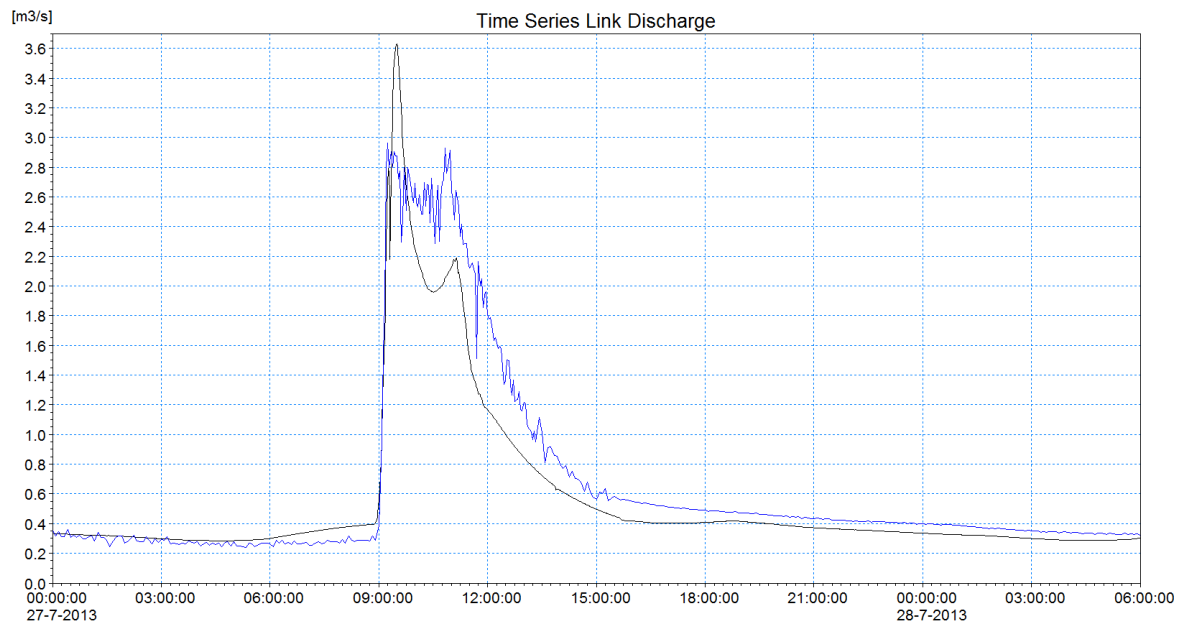
Kalibreringsresultat för mätpunkt **VH4** den 27 juli 2013. Den svarta grafen visar simulerat flöde i modellen och den blå grafen visar uppmätt flöde.



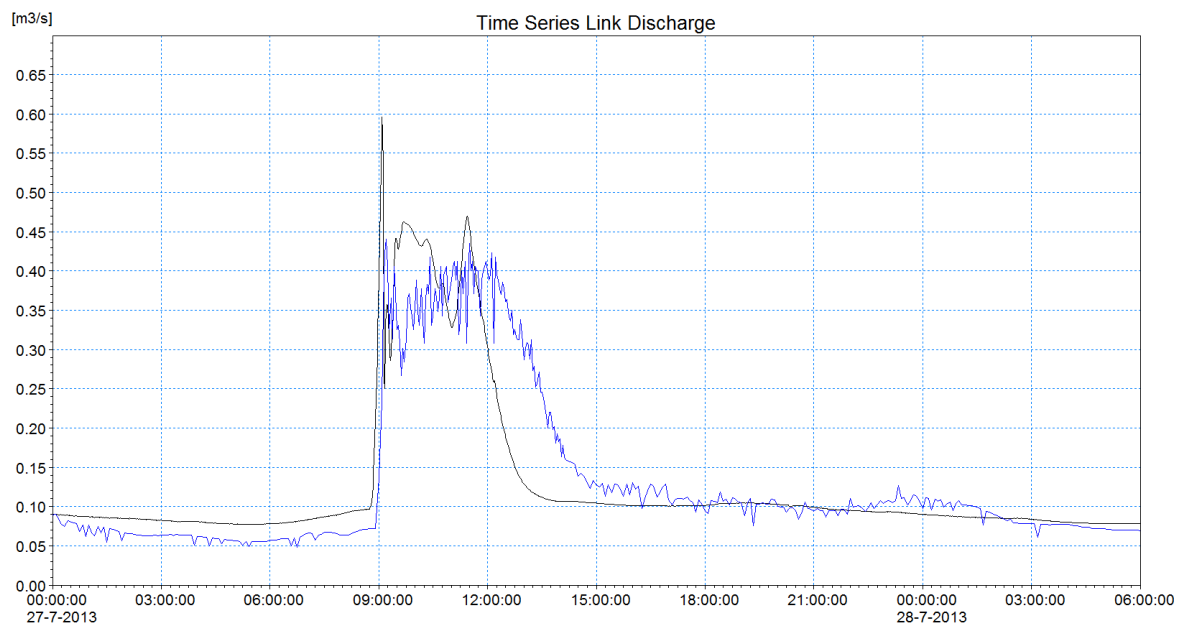
Kalibreringsresultat för mätpunkt **VH5** den 27 juli 2013. Den svarta grafen visar simulerat flöde i modellen och den blå grafen visar uppmätt flöde.



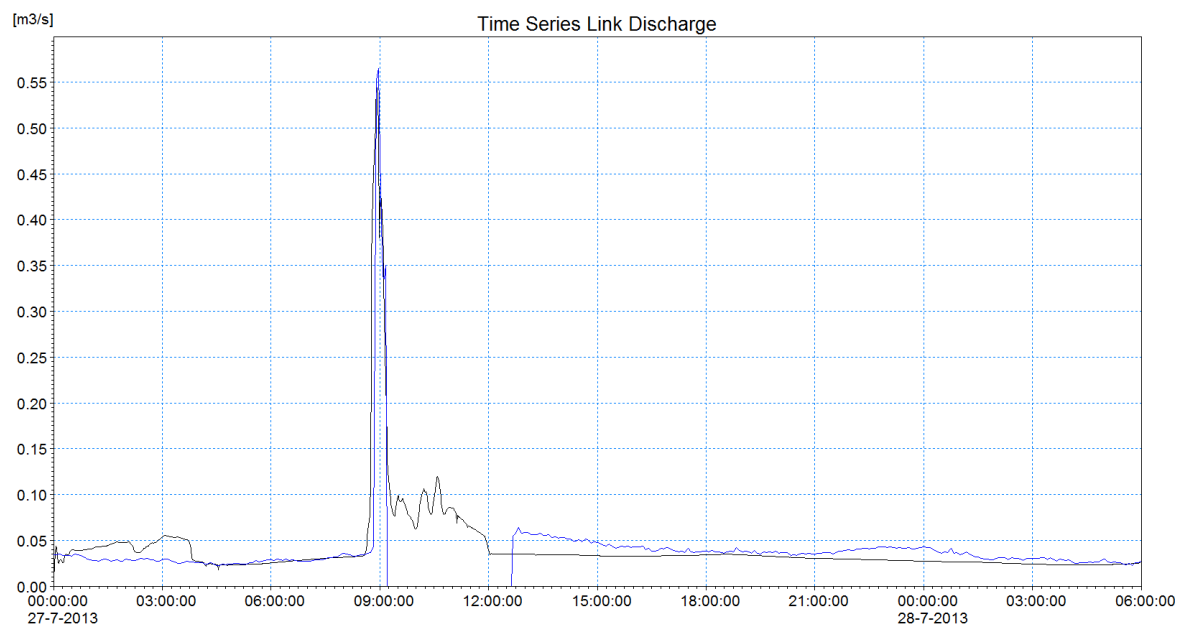
Kalibreringsresultat för mätpunkt **VH6** den 27 juli 2013. Den svarta grafen visar simulerat flöde i modellen och den blå grafen visar uppmätt flöde.



Kalibreringsresultat för mätpunkt **VH7** den 27 juli 2013. Den svarta grafen visar simulerat flöde i modellen och den blå grafen visar uppmätt flöde.



Kalibreringsresultat för mätpunkt **VH8** den 27 juli 2013. Den svarta grafen visar simulerat flöde i modellen och den blå grafen visar uppmätt flöde.



Kalibreringsresultat för mätpunkt **VH9** den 27 juli 2013. Den svarta grafen visar simulerat flöde i modellen och den blå grafen visar uppmätt flöde. Från grafen kan utläsas att hastighetsmätaren har slutat fungera mellan ca kl 9 och kl 12 så att inget flöde har kunnat beräknas för denna period.