



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 20002

Examensarbete 30 hp
Februari 2020

Analys av kopplade hydrauliska modeller för dagvatten i urban miljö

Matilda Jeppsson

REFERAT

Analys av kopplade hydrauliska modeller för dagvatten i urban miljö

Matilda Jeppsson

Skyfall och extremväder antas bli allt vanligare i framtiden som följd av klimatförändringar. En konsekvens av ökad nederbörd är översvämningar vilka på senare år har ökat i både Sverige och i världen. Med vetskap om detta är det därför av intresse att kunna förutspå översvämningar genom att använda hydrauliska modeller. För att få en modell som beskriver tvåvägskommunikationen mellan ledningsnät och markyta kan kopplade modeller användas.

En skyfallskartering har genomförts i Kungsängen för ett skyfall motsvarande ett 100-årsregn genom att koppla en markmodell i programvaran MIKE 21 med en ledningsnätsmodell i MIKE URBAN. Kopplingarna mellan modellerna gjordes i programvaran MIKE FLOOD. Studien syftade till att undersöka skillnader i resultat när regn simulerades på olika sätt i modellerna och genom att variera antal brunnar som kopplades mellan modellerna. Regn simulerades genom att antingen simulera allt regn i markmodellen eller genom att simulera regn motsvarande ledningsnätets kapacitet i ledningsnätsmodellen och resterande i markmodellen. Kopplingar gjordes med huvudbrunnar vilket initialt fanns i modellen, eller med rännstensbrunnar som dels erhöles från kommunen och dels lades in manuellt. Vid koppling av brunnar varierades flödesbegränsningar och brunnsdimensioner.

Resultaten visade att när regn simulerades enbart på markytan blev marköversvämningen stor då vatten inte rann ner till fullt i ledningsnätet. När regn delades upp över markyta och ledningsnät fylldes ledningsnätet upp och marköversvämningen blev mindre. Anledningen till att mindre vatten rann ner i ledningsnätet i det första fallet var på grund av att vatten inte låg tillgängligt för brunnarna. Vatten tenderade att ansamlas i lågpunkter som inte var belägna intill brunnarna. Detta visade sig speciellt då huvudbrunnar studerades. Simuleringar med flödesbegränsningar för brunnarna resulterade i större översvämningssutbredning och mindre uppfyllnad av ledningsnät när regn simulerades på ytan. Studien visar att regn bör delas upp mellan markyta och ledningsnät i kopplade modeller för att få trovärdiga resultat.

När rännstensbrunnar kopplades blev flödet mellan modellerna större än då huvudbrunnar kopplades. Detta beror på att ett större antal brunnar var kopplade så att vatten hade större möjlighet att rinna ner till ledningsnätet. Det beror även på att rännstensbrunnarna var placerade i lågpunkter där mycket vatten samlades. Studien visar att kopplingar med en detaljerad beskrivning av rännstensbrunnar är att föredra framför kopplingar med huvudbrunnar, även om tidsinsatsen blir större.

Nyckelord: Dagvatten, skyfallskartering, hydraulisk modellering, kopplade modeller, MIKE URBAN, MIKE 21, MIKE FLOOD

Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten och landskapslära, Uppsala universitet, Villavägen 16, SE-75236 Uppsala, Sverige. ISSN 1401-5765

ABSTRACT

Analysis of coupling models for stormwater in urban areas

Matilda Jeppsson

Cloud burst and extreme weather seem to occur more frequently in the future because of climate change. Lately flooding and increasing precipitation has been more common both in Sweden and around the world. It is therefore of interest to predict flooding by using hydraulic models. Coupling models can be used to describe a two-way communication between the pipeline and the ground surface.

A cloud burst mapping was made in Kungsängen for a 100-year rain event by coupling one surface model in MIKE 21 with a sewer system model in MIKE URBAN. The models were coupled in MIKE FLOOD. Differences were studied when rain was simulated in different ways and when different coupling were made. Rain was simulated either by simulating all the rain in the surface model or simulate rain corresponding to the capacity of the sewer system in the sewer system model and the remaining rain in the surface model. The coupling was made either with manholes or smaller gully holes. For the different simulations the manholes and gully holes had different flow limitations and dimensions.

Scenarios when rain was simulated in the surface model resulted in large flooding as water did not reach the sewer system fully. When rain was simulated both in the surface model and sewer system model the flooding was smaller and the sewer system was fully filled. The reason why water couldn't reach the sewer system in the first scenario was because of several manholes was located at dry spots. Water tended to accumulate in low points where only a few manholes were located. Scenarios when gully holes were coupled resulted in a larger flow between the models comparing when manholes were coupled. This is a result of a larger number of couplings that enables water to flow between the models. It is also a result of the locations of the gully holes which was located mainly at flooded spots. This study shows that a more detailed description of the model using gully holes are preferred even if the method is more time consuming.

Key words: Stormwater, cloudburst mapping, hydraulic modelling, coupling models, MIKE URBAN, MIKE 21, MIKE FLOOD

Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Science, Uppsala University, Villavägen 16, SE-75236 Uppsala, Sweden. ISSN 1401-5765

FÖRORD

Detta examensarbete omfattar 30 hp och avslutar fem år på civilingenjörsprogrammet i Miljö- och vattenteknik på Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Examensarbetet har utförts på Norconsult i Uppsala.Handledare Anna Landahl, VA-utredare på Norconsult och Jacob Friman, civilingenjör på Norconsult. Roger Herbert från institutionen geovetenskap, Uppsala Universitet har varit ämnesgranskare.

Först och främst vill jag tacka mina handledare Anna Landahl och Jacob Friman som varit till stor hjälp och stöd vid uppbyggnad av modellerna och ett värdefullt bollplank då frågor dykt upp. Jag vill tacka min ämnesgranskare Roger Herbert som varit ett stöd under hela examensarbetet. Jag vill tacka Upplands-Bro kommun som tillhandahållit underlag till modellerna som använts i examensarbetet. Jag vill även tacka Sten Blomgren och DHI som möjliggjort tillgång till programvarorna i MIKE.

Sist men inte minst vill jag tacka mina vänner och familj som under hela studietiden varit med och stöttat och gjort studietiden oförglömlig.

Uppsala, februari 2020

Matilda Jeppsson

Copyright © Matilda Jeppsson och Institutionen för geovetenskaper,
Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.
UPTEC W 20 002, ISSN 1401-5765

Digitalt publicerad hos Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala, 2020.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

I städer används ledningsnät nedgrävda i marken för att kunna avleda dagvatten. Det vatten som inte kan avledas via ledningsnätet när stora regn inträffar kan till viss del tränga in i jorden, men en del ansamlas på ytan. Vid ett skyfall kan stora mängder vatten ansamlas på ytan och bilda översvämning. Översvämning har under de senaste åren ökat både i Sverige och runt om i världen. I städer kan konsekvenserna bli stora om översvämningar sker och orsaka stora skador på byggnader och infrastruktur vilket kan bli mycket kostsamt. I takt med att städer växer ökar andelen hårdgjorda ytor. Hårdgjorda ytor är till exempel asfalterade vägar, byggnader och parkeringsplatser där vatten inte har möjlighet att tränga igenom och lagras i jorden som det kan i till exempel naturmark. Istället rinner vatten av på ytan och ansamlas vilket vid kraftiga regn kan bilda översvämningar. I framtiden antas nederbörden att öka och bli mer intensiv och därför är det av intresse att veta hur kraftiga regn påverkar städer om sådana händelser skulle ske. För att undersöka detta kan en så kallad skyfallskartering göras.

En skyfallskartering innebär att undersöka översvänningsutbredning och platser som riskerar höga vattennivåer efter ett kraftigt regn. En sådan kartering kan göras genom enklare analyser där topografidata används för lokalisering av översvämningen. Mer avancerade analyser kan göras genom att använda kopplade modeller. I kopplade modeller används en modell som beskriver områdets terräng, typ av jordart och hur väl vatten kan tränga ner i marken. Modellen kopplas sedan samman med en annan modell som beskriver hur vatten flödar i ledningsnätet. På detta sätt fås en heltäckande bild av hur vatten flödar, både på ytan, i ledningsnätet och däremellan. När modeller byggs upp kan användaren välja hur pass avancerad modell en vill ha. Skapandet av en modell med detaljerad beskrivning av parametrar kräver en stor arbetsinsats vilket i sin tur kräver mycket tid.

Detta arbete har undersökt hur översvänningsutbredningen och uppfyllnaden i ledningsnätet påverkats när regn har simulerats på olika sätt i kopplade modeller. Det har även undersökt hur antalet brunnar har påverkat simuleringsresultatet. Resultatet visar att när regn delas upp över modellerna fås ett mer trovärdigt resultat då vatten fyller upp ledningsnätet och en stor andel vatten flödar mellan modellerna. Det visar även att lokaliseringen av brunnar spelar stor roll och att ju fler brunnar som är kopplade desto större andel vatten kan röra sig mellan modellerna. Vid skapandet och användandet av kopplade modeller är det därför viktigt att placera brunnar på rätt platser så att vatten kan flöda mellan markyta och ledningsnät.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

REFERAT	I
ABSTRACT	II
FÖRORD	III
POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING	IV
1 INLEDNING	1
1.1 Syfte och frågeställningar	2
2 TEORI OCH BAKGRUND	3
2.1 Nederbörd och skyfall	3
2.2 Dagvattenhantering och översvämningar	4
2.2.1 Dagvattenhanterings historia och utveckling	4
2.2.2 Urbaniseringens påverkan	4
2.3 Avvattningskapacitet och brunnar	5
2.4 Översvämningsmodellering	6
2.4.1 Analys av lågpunkter	6
2.4.2 Markavrinningsmodell i 2D	6
2.4.3 1D/1D kombinerad ledningsnätsmodell och ytmodell för flödesvägar	6
2.4.4 1D/2D kombinerad ledningsnätsmodell och markmodell	7
2.5 Nederbörd i hydrauliska modeller	7
2.5.1 Historiskt regn	7
2.5.2 Blockregn	7
2.5.3 CDS-regn	8
2.6 Regnbelastning i kopplade modeller	9
2.7 MIKE by DHI	10
2.7.1 MIKE URBAN	10
2.7.2 MIKE 21	11
2.7.3 MIKE FLOOD	13
3 METOD OCH MATERIAL	14
3.1 Beskrivning av området	14
3.2 Beskrivning av modellerna	14
3.2.1 MIKE URBAN	15
3.2.2 MIKE 21	16
3.3 Modelluppställning	19
3.4 Koppling av modeller i MIKE FLOOD	20
3.4.1 Scenario 1 - Huvudbrunnar med standardinställningar för maxflöde och dimension för brunnar	20

3.4.2	Scenario 2 - Huvudbrunnar med beräknat maxflöde och dimension för brunnar	21
3.4.3	Scenario 3 - Lågpunktskartering och placering av brunnar	22
4	RESULTAT	24
4.1	Vattenvolym för olika scenarier	24
4.2	Simulering med standardinställningar för brunnar - Scenario 1	25
4.3	Simulering med flödes- och dimensionsbegränsning för brunnar - Scenario 2 .	29
4.4	Simuleringar med olika brunnskopplingar - Scenario 3	32
4.5	Utvalda områden	33
4.5.1	Område A	34
4.5.2	Område B	35
4.5.3	Område C	36
5	DISKUSSION	38
5.1	Vattenvolym för olika scenarier	38
5.2	Olika simuleringar av regn	40
5.3	Påverkan av flödesbegränsningar på brunnar - Scenario 2	41
5.4	Simulering med olika brunnskopplingar - Scenario 3	42
5.5	Framtida studier	44
6	SLUTSATSER	45
	REFERENSER	46
	BILAGOR	54

1 INLEDNING

Under de senaste åren har extrema väder i form av skyfall inträffat på många platser i Sverige. En konsekvens av intensiva nederbörds mängder är översvämning vilket kan skapa stora problem och kostnader för samhället. Ett exempel är händelsen som inträffade i Malmö i augusti 2014 då stora områden av staden översvämmades vilket orsakade stora skador och kostnader upp emot 300 miljoner kronor (Hernebring m fl. 2015). Enligt SMHI (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut) antas volymen nederbörd öka med 10 % till 40 % fram till år 2100 och regnintensiteterna bli allt högre. Detta gör att översvämningssproblematiken vi ser idag även kommer att öka (Olsson m fl. 2017).

Idag tas dagvatten i städer omhand främst via ledningsnät i marken men även genom öppna lösningar så som dammar eller specialutformade grönytor. Vid skyfall är det inte en fråga om huruvida ledningsnäten bör omdimensioneras, utan snarare en samhällsplaneringsfråga hur städer ska byggas för att bli tåliga att klara dessa typer av regn (Hernebring m fl. 2015). Därför är det av hög relevans att bygga hållbara städer som tål ett framtida klimat med ökad nederbörd.

Genom urbanisering och förtätning av städer ökar andelen hårda ytor då naturmark och grönområden byts ut mot byggnader och asfalterade ytor. Dessa ytor är impermeabla vilket leder till att vatten inte kan infiltrera utan sprids istället över markytan i form av avrinning. Avrinningsförloppen blir mycket snabba och enligt Hernebring & Mårtensson (2013) avrinner ca 80–90 % av den totala årsnederbörden i urban miljö jämfört med 30–50 % i ett naturområde, där resterande vatten infiltreras i marken. Avrinningen och hårdgjorda ytor resulterar i att vatten ansamlas i lågpunkter och blir stående vilket orsakar översvämning. Denna typ av översvämning kallas för pluvial översvämning och blir allt vanligare i Sverige till följd av fler korta intensiva regn (Hernebring & Mårtensson 2013). Ökande mängder nederbörd tillsammans med fortsatt urbanisering och förtätning av städer ger därför stora utmaningar för samhället både i beredskaps-, planerings- och åtgärdssynpunkt (Olsson m fl. 2017).

Med en ökad nederbördsprognos och risk för mer extremt väder beslutade EU:s medlemsländer år 2007 att genom ett direktiv och gemensamt arbeta för att hantera översvämningssrisker. I Sverige följs detta upp som förordning (SFS 2009:956) om översvämningssrisker och genom föreskrift (MSBFS 2013:1) om länsstyrelsens planer för hantering av översvämningssrisker (MSB 2012). För att öka beredskap för översvämningar ligger en del av arbetet i att förutspå översvämningar vilket kan göras genom att utföra så kallade skyfallskarteringar med hjälp av hydrauliska modeller.

Hydrauliska modeller används ofta vid skyfallskartering. De är användbara till exempel vid dimensionering av ledningsnät i nya områden, analys vid källaröversvämningar eller påverkan av klimatförändringar. Enkla analyser i form av lågpunktskartering kan användas för att snabbt identifiera utsatta områden. Om mer omfattande utredningar krävs kan kopplade modeller mellan markyta och ledningsnät användas för att möjliggöra för vatten att flöda mellan markyta och ledningsnät. En kopplad modell möjliggör en dynamisk beskrivning av händel-

seförloppet där både uppfyllnad i ledningsnätet och marköversvämning beskrivs (MSB 2017). Modeller för markavrinning, ledningsnät och kopplingen däremellan kan göras i MIKE-programmen som är utvecklade av DHI (DHI u.å.). Metoden är relevant för både översiktliga och detaljerade studier och resultatet kan användas till bland annat konsekvensanalyser och beredskapsplanering (Blomquist m fl. 2016).

Beroende på hur brunnar beskrivs eller hur regn simuleras i kopplade modeller kan resultatet komma att variera. Brunnar kan antingen kopplas direkt till huvudledningsnätet via så kallade huvudbrunnar eller kopplas via ett flertal rännstensbrunnar. Den sistnämnda är en mer detaljerad beskrivning med fler kopplingar mellan de olika modellerna vilket gör metoden mer tidskrävande. När det gäller regn kan det simuleras på olika sätt i respektive modell. Det kan antingen simuleras i markmodellen, i ledningsnätetsmodellen eller delas upp däremellan. Det är dock viktigt att komma ihåg att en modell endast är en beskrivning av verkligheten och inte verkligheten själv. En modell används för att kunna beskriva verkligheten på ett så trovärdigt sätt som möjligt och därför är det betydelsefullt att veta konsekvenserna av de val och förenklingar som görs då modeller byggs upp och används (Blomquist m fl. 2016).

1.1 Syfte och frågeställningar

Detta examensarbete syftar till att genomföra en skyfallskartering med kopplade modeller och undersöka skillnader i resultatet när regn simuleras på olika sätt i modellerna och när kopplingar varierar mellan huvudbrunnar och rännstensbrunnar. Målet med examensarbetet är att få information om hur olika val av brunnar och regnsimuleringar påverkar resultatet för att i framtiden kunna simulera scenarier som beskriver verkligheten på bästa sätt.

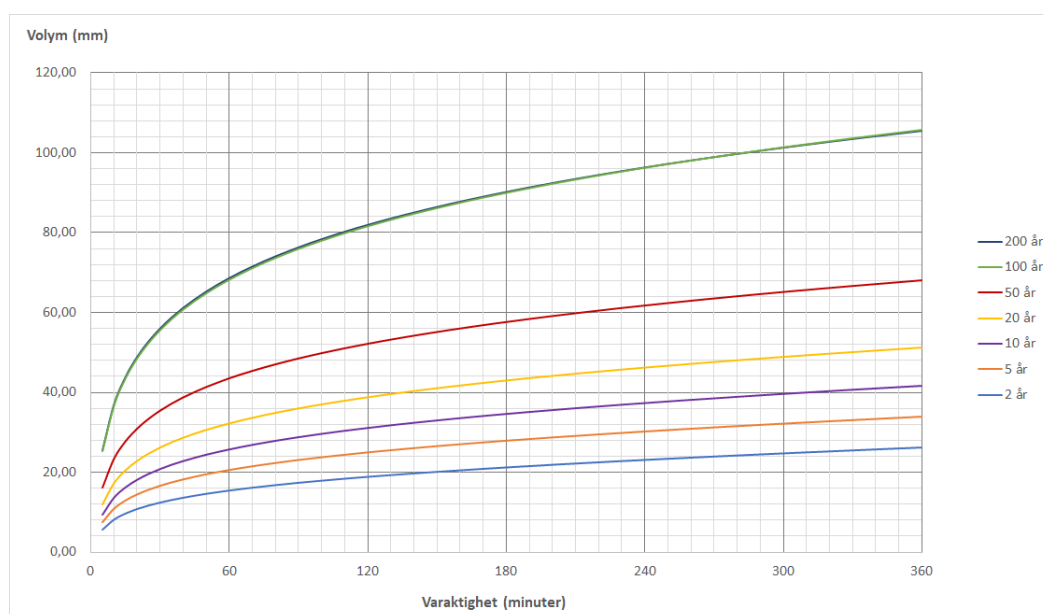
De frågeställningar som ska besvaras för att uppnå syftet är:

- Hur påverkas utbredningen av översvämningen och resulterande trycklinje i ledningsnätet i de kopplade modellerna om allt regn simuleras på markytan alternativt om regn delas upp mellan ledningsnät och markyta?
- Hur varierar flödet mellan modellerna beroende på hur regn simuleras och hur brunnar kopplas?
- Vilken effekt fås på marköversvämningen och resulterade trycklinje i ledningsnätet beroende på om huvudbrunnar eller rännstensbrunnar kopplas mellan modellerna?

2 TEORI OCH BAKGRUND

2.1 Nederbörd och skyfall

Nederbörd är ett samlingsnamn för vattenmolekyler som fallit genom atmosfären och befinner sig antingen i flytande eller fast form. De vanligaste formerna är regn, snö och hagel (SMHI 2017). För att beskriva nederbörd används begreppen regnvolym, varaktighet och återkomsttid. Regnvolym beskriver hur mycket regn som faller och mäts ofta i enheten mm. Hur ihållande ett regn är beskrivs med regnets varaktighet. Regnstatistik berör ofta regn som har en varaktighet mellan 5 minuter upp till 24 timmar. För att beskriva hur vanligt förekommande ett regn är används återkomsttid. En längre återkomsttid motsvarar en händelse som statistiskt sätt inträffar mer sällan. Ett 100-årsregn är ett statistiskt mått vilket antas inträffa en gång var etthundra år men kan även inträffa med tätare eller glesare intervall. Sannolikheten att ett 100-årsregn ska inträffa varje år är 1 %, oavsett om det inträffat nyligen eller inte. Återkomsttid är ett centralt begrepp vid dimensionering av olika dagvattenanläggningar eller nyexploaterade områden för att kunna avgöra vilken säkerhetsnivå som ska gälla. Återkomsttid bestäms genom analys av historiskt uppmätta regnhändelser. Eftersom regnintensiteten antas öka i framtiden brukar även en så kallad klimatfaktor adderas för att kompensera ett förändrat klimat. Återkomsttiden beror på både regnvolymen och på varaktigheten. Ett regn med en viss volym kan alltså vara både ett 10-årsregn och ett 20-årsregn beroende på under hur lång tid regnet faller. Sambandet kan fås ut genom ett intensitetsvaraktighetssamband vilket visas i figur 1 (Svenskt Vatten 2016).



Figur 1: Sambandet mellan regnvolym och varaktighet. Beroende på regnets volym och varaktighet fås en viss återkomsttid. Diagram framtaget utifrån Dahlströms formel, P110 Svenskt Vatten (2016)

2.2 Dagvattenhantering och översvämningar

Dagvatten är allt regnvatten, smältvatten och vatten som rinner av på hårdgjorda ytor i urbana miljöer. I städer tas dagvatten hand om främst via ledningsnät i marken, antingen i ett kombinerat spillvattensystem eller i ett enskilt system. Ledningsnät i Sverige är ofta dimensionerat för att klara av 10-årsregn (Gustafsson & Mårtensson 2014). Expansion av städer har gjort att fler områden kopplas på det befintliga nätet vilket resulterar i att dagvattennätet i många städer ofta går fullt då utbyggnad av ledningsnät inte skett i samma takt och utsträckning som expansionen av bostäder.

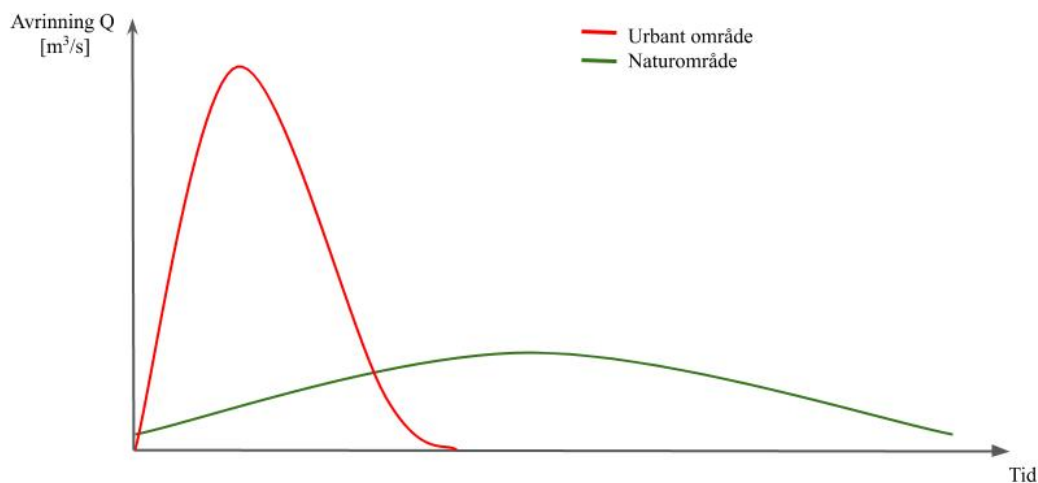
2.2.1 Dagvattenhanterings historia och utveckling

De första VA-ledningsnäten som anlades i modern tid skedde på 1860-talet. Dessa system utgjordes av ett kombinerat system där både spill- och dagvatten avleddes i samma ledning. I tätbebyggelse var detta det dominerade systemet som användes fram till 1950-talet. Att leda spill- och dagvatten i samma ledning är ofta billigare att anlägga då endast en ledning behövs men det medför även många nackdelar. Dels blir flödena i reningsverken högre än vad som är nödvändigt då det smutsiga avloppsvattnet späds ut med dagvatten. Dels är risken stor för översvämning vid kraftiga regn då ledningarna blir fulla och kan trycka upp vatten på andra platser, exempelvis i källare. Det finns även stor risk att förorenat vatten trycks upp och rinner direkt ut till recipienten vilken kan orsaka skador på den ekologiska miljön. Med vetskapen om dessa effekter fasades kombinerade system ut och ersattes istället med duplikata system. I denna typ av system rinner spillvatten och dagvatten i två separata ledningar (Svenskt Vatten 2011b).

Idag rekommenderas att avloppssystemen utformas så att dagvattenledningen har möjlighet att dämna upp till ytan om trycket skulle bli för stort, detta för att minska att vatten dämmer upp i oönskade områden såsom källare. I början av 2000-talet utvecklades hållningen till dagvattenhantering och begreppet *Hållbar Dagvattenhantering* etablerades. Syftet med hållbar dagvattenhantering är att försöka efterlikna naturens metoder och fördröja samt låta vatten infiltrera i marken och på så sätt minska belastningen och extrema flödestoppar i ledningsnätet. Så kallade gröna lösningar brukar användas i form av gröna tak, dammar och infiltrationsytor (Svenskt Vatten 2011a).

2.2.2 Urbaniseringens påverkan

De senaste 100 åren har det skett en urbanisering i Sverige där allt fler människor flyttat från landsbygden in i städer. År 2015 bodde 85 % av Sveriges befolkning i tätorter (SCB 2015). Detta ställer högre krav på samhället och inte minst på hanteringen av dag- och spillvatten. En illustration hur avrinningen påverkas av markanvändningen visas i figur 2. I urbana miljöer förekommer större andel hårda ytor vilket påverkar avrinningen av dagvattnet. Infiltrationskapaciteten för dessa ytor är väldigt låg vilket leder till större markavrinning än för till exempel naturmark (Svenskt Vatten 2011a). Figur 2 visar avrinning som funktion av tiden för urban mark och naturmark.



Figur 2: Avrinningsförloppet i urban miljö jämfört med naturlig miljö.

2.3 Avvattningskapacitet och brunnar

För att dagvattenhantering ska fungera väl i städer krävs en fungerande avvattning. För hus och byggnader sköts denna med stuprör och hängrännor medan markavvattningen på vägar och gångbanor sker via rännstensbrunnar som i sin tur leder ner vattnet i ledningsnätet. Ibland förekommer öppna lösningar så som diken men vid tät bebyggelse krävs brunnar för att snabbt kunna avleda stående vatten ner till ledningsnätet. Beroende på vilken bebyggelse som existerar i området finns olika krav för ledningsnätets kapacitet. I centrum krävs att ledningsnätet ska klara av att avleda ett 30-årsregn men för områden utanför centrum är kraven lägre och ledningsnätet behöver endast ha kapacitet för att avleda ett 20- eller 10-årsregn (Svenskt Vatten 2016; Salomonsson m fl. 2017).

En generell uppfattning är att det finns en obegränsad kapacitet att leda ner vatten till ledningsnätet via brunnar. I verkligheten stämmer inte det utan beror på en rad olika faktorer så som placering av brunn, lutning på gata samt om brunnen är rensad. Om löv och annat ansamlas vid gallret stoppar det upp vattnet vilket gör att flödet begränsas, och om lutningen på gatan är stor tenderar vatten att forsa förbi brunnen istället för att rinna ner. För att undersöka kapaciteten hos rännstensbrunnar utförde Jönköpings kommun analyser för olika typer av rännstensbrunnar genom så kallat kapacitetsprov. Resultaten visade att under ideala förhållanden då brunnarna var rensade och hela gallret var täckt med vatten hade en traditionell rännstensbrunn en kapacitet på ca 20 l/s. Ur en översvämningssynpunkt är det viktigt att se till att rännstensbrunnar är dimensionerade på ett rimligt sätt och inte bara själva ledningsnätet

(Salomonsson m fl. 2017).

2.4 Översvämningsmodellering

Idag finns många olika typer av modellverktyg och det blir allt vanligare att beskriva översvämningar med hjälp av modeller och utföra simuleringar. Simuleringar i samband med skyfallskarteringar är betydelsefulla då det kan ge en bild av hur en översvämning kan påverka ett specifikt område om nederbörd med viss en intensitet och återkomsttid skulle förekomma. Modeller kan vara användbara för åtgärder i befintliga områden men även för nyexploatering. Hur detaljerad modellen ska vara beror på syftet med analysen samt vilken data som finns tillgänglig. Hernebring & Mårtensson (2013) redogör de olika metoderna som vanligen används med för- och nackdelar. Dessa beskrivs kortfattat nedan.

2.4.1 Analys av lågpunkter

Med hjälp av analysverktyg i GIS (Geographic Information System) kan lågpunkter i terrängen definieras. Analysen ger en snabb överblick över områden som riskerar att översvämmas. Fördelen med lågpunktskartering är att den jämfört med andra metoder är snabb och relativt enkel. Eftersom att analysen inte är kopplad till ett visst regn med en specifik volym eller återkomsttid kan risken inte kvantifieras då ingen hänsyn tas till hydraulik eller nederbörds-mängd. För denna typ av analys brukar alla ytor antas vara impermeabla vilket resulterar i att vattnet varken kan avledas till dagvattenssystem eller infiltrera i marken. Resultatet av analysen blir en karta över översvämningsens utbredning och vattendjup. Denna typ av analys används ofta i början av utredningar för att identifiera lågpunkter vilka kan vara riskområden.

2.4.2 Markavrinningsmodell i 2D

Genom att använda sig av en tvådimensionell hydraulisk modell kan en beskrivning av markavrinningen fås där regn med olika återkomsttid kan studeras. Modellen tar inte hänsyn till något ledningsnät men genom att göra ett schablonmässigt avdrag för ledningsnätets kapacitet kan en trovärdig bild av översvämningsrisken fås. Denna typ av modellering lämpar sig för skyfallskartering för regn med en återkomsttid på minst 100 år. Resultatet av analysen blir en översvämningskarta över vattendjup, flödesriktningar och översvämningsutbredningar och är användbar för att t.ex. analysera hur vatten breder ut sig i urbana miljöer där stora delar av markytan består av hårdgjorda ytor.

2.4.3 1D/1D kombinerad ledningsnätsmodell och ytmodell för flödesvägar

För att beskriva hur vattnet rör sig mellan ledningsnät och yta kan en 1D-ledningsnätsmodell kopplas ihop med en 1D-ytmodell för flödesvägar på ytan. Modellerna kopplas samman via så kallade noder vilka representerar brunnar eller diken. Eftersom att vattnet endast kan röra sig i en dimension i ytmodellen beskrivs terrängen inte lika noggrant som för en 2D-modell vilket innebär en grov förenkling av verkligheten. Resultatet blir en översvämningskarta där vattendjup, flödesriktning och utbredning fås.

2.4.4 1D/2D kombinerad ledningsnätsmodell och markmodell

En metod som är mer avancerad än en 1D/1D-modell är att använda sig av en 1D-ledningsnätsmodell kombinerat med en 2D-markavrinningsmodell. Denna ger en dynamisk beskrivning av händelseförloppet vilket beskriver markavrinningen på ytan i kombination med strömning och vattenuppfyllnad i ledningsnätet. Jämfört med den kombinerade 1D/1D-metoden (se avsnitt 2.4.3) kan vattnet strömma fritt enligt topografin istället för att endast strömma i en dimension. Denna metod är relevant för både översiktliga och detaljerade studier och resultatet kan användas till bland annat konsekvensanalyser och beredskapsplanering. Nackdelen med metoden är att beräkningstiderna blir långa och 2D-modellen kräver mycket indata jämfört med 1D/1D-modellen.

2.5 Nederbörd i hydrauliska modeller

I hydrauliska modeller kan nederbörd simuleras på olika sätt beroende på vad det är för modell och vad den ska beskriva. Idag används vanligen historiskt regn, blockregn eller CDS-regn (Chicago Design Storm) vid simuleringar i modeller. Blockregn och CDS-regn är så kallade designregn där regnintensiteten tas fram med hjälp av formler eller från regnstatistik för ett specifikt område (Hernebring m fl. 2011). Nedan följer beskrivningar av respektive regn.

2.5.1 Historiskt regn

Historiskt regn syftar till fysiskt uppmätt regn. Mätningar kan vara serier för långa regntillfällen eller för enstaka regn. Data brukar i vanliga fall ges som regnvolymer eller konstant intensitet och redovisas i en hyetograf vilken visar hur intensiteten varierar mot tiden (Hernebring m fl. 2011). Förutom att använda historiskt regn till simulering i modeller kan det även användas till kalibrering av modeller då det är baserat på mätdata från verkliga uppmätta händelser. Det är viktigt att datan kontrolleras så att eventuella fel, som att mätaren varit ur funktion eller om loggning av data inte fungerat korrekt upptäcks, annars finns stor risk för följdfel (Blomquist m fl. 2016).

2.5.2 Blockregn

Ett blockregn beskriver ett regns medelintensitet för en given varaktighet och återkomsttid. Detta kan utläsas ur en intensitet-och varaktighetskurva vilket är baserat på matematiska statistiska formler som beskriver medelnederbördsintensiteten för olika individuella regn (Chow, Maidment & Mays 1988). Blockregn är rekommenderat att använda vid simuleringar för kontroll av befintliga ledningsnät. En serie med blockregn kan då användas för att simulera till exempel översvämningar för regn med samma intensitet men med olika varaktighet (Svenskt Vatten 2011b).

2.5.3 CDS-regn

Om ett regn med olika intensiteter och varaktigheter ska simuleras kan ett så kallat typregn användas. Ett vanligt typregn är ett så kallat CDS-regn vilket är ett regn där intensitet varierar med tiden, se figur 3. Principen är densamma som för ett historiskt regn men skillnaden är att ett CDS-regn är ett designregn som tagits fram utifrån matematiska formler. I Sverige rekommenderas och används ofta Dahlströms ekvation för att ta fram intensiteter. Dahlströms ekvation visas i ekvation 1 och kan användas för regnvaraktigheter upp till ett dygn.

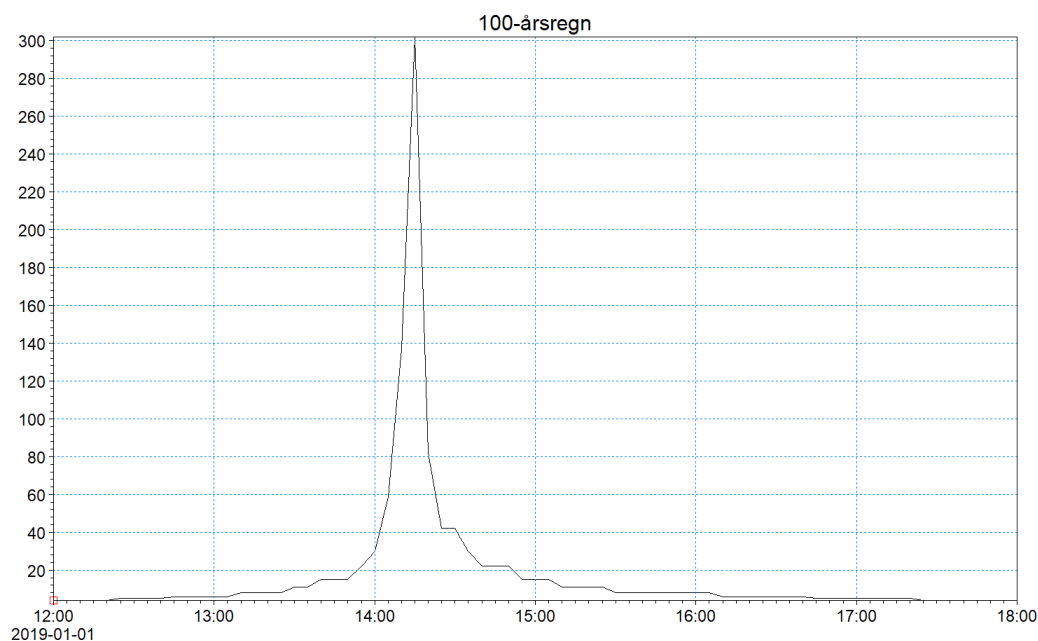
$$i_A = 190 \cdot \sqrt[3]{A} \cdot \frac{\ln(T_R)}{T_R^{0,89}} + 2 \quad (1)$$

i_A = Regnintensitet [l/s ha]

A = Återkomsttid [månader]

T_R = Regnvaraktighet [min]

Viktiga egenskaper för att designa ett regn är totalvolym, tidsförloppets utseende samt intensitetsmaximums storlek och placering (Svenskt Vatten 2011b). Regnintensitetens placering varierar för olika varaktigheter, återkomsttider och platser men Arnell (1991) rekommenderar att placera maximum vid en tidpunkt 0,37 av regnets totala varaktighet. Detta efter att ha granskat rapporter från andra forskare som studerat CDS-regn (Svenskt Vatten 2011b).



Figur 3: Illustration av ett CDS-regn med en återkomsttid på 100 år. Grafen visar regnintensitet [mm/h] som funktion av tiden [min].

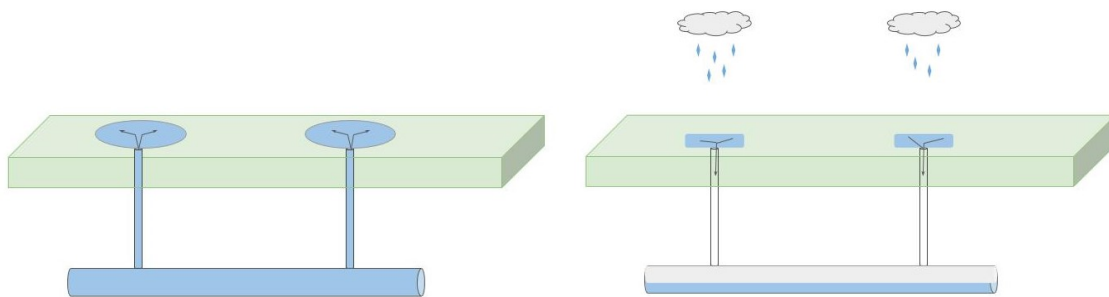
2.6 Regnbelastning i kopplade modeller

För kopplade modeller mellan ledningsnät och markyta tillåts vatten att strömma fritt mellan modellerna. Brunnar som är kopplade mellan ledningsnät och markyta fungerar som ventiler och möjliggör för vattnet att både tränga upp på markytan samt att rinna ner i ledningsnät om utrymme finns. Den dynamiska kopplingen mellan modellerna tar hänsyn till ledningsnätets kapacitet såväl som vattenutbyte mellan ledningar och markyta, vilket ger en bild över hela systemet samtidigt som det tar hänsyn till lokala förhållanden i ledningsnätet (DHI 2016).

Regn kan simuleras på olika sätt i kopplade modeller. Den vanligaste metoden är att belasta ledningsnätet först vilket innebär att när trycket i ledningsnätet stiger över marknivå aktiveras markavrinningsmodellen och beräkning av ytavrinning och flödesvägar sker. Detta ger i sin tur översvämning på markytan. En illustration av metoden ses i figur 4a. Denna metod rekommenderas för modeller där ledningsnätsmodellen är kalibrerad. Anledningen är att infiltration och liknande faktorer redan är inräknade och modifierade av det avrinningsområde det är uppbyggt från (Blomquist m fl. 2016). Nackdelen med denna metod är att områden som inte är kopplade till ledningsnätet inte kommer visas som riskområden för översvämning. Detta kan medföra att lågpunkter som i verkligheten skulle översvämmas inte visar på någon översvämning i simuleringen. Vatten kommer endast att trycka upp vid brunnarna och därför fås inte en heltäckande bild av översvämningsrisken för området. Metoden är även begränsande att använda till simulering av mindre regn. Detta eftersom MIKE URBAN inte klarar av att simulera regn som är större än regn motsvarande ledningsnätets kapacitet (Blomquist m fl. 2016).

Ett annat alternativ är att lägga in regnet i markavrinningsmodellen och sedan låta vattnet rinna via kopplingar till ledningsnätet, se figur 4b (Blomquist m fl. 2016). Om denna metoden används bör beaktning tas till infiltration och andra faktorer som påverkar fördröjning av vattnet. I kopplade modeller ansätts ofta ytor som impermeabla vilket gör att översvämningsutbredning och vattendjup överskattas. Därför behöver hänsyn tas till olika ytors infiltrationskapacitet i markmodellen om denna typ av metod ska användas (Gustafsson & Mårtensson 2014).

En kombination att belasta ledningsnätet med regnvolym motsvarande ledningsnätets kapacitet och därefter belasta resten på ytan är också något som kan utföras. På så vis delas regnet upp i de olika modellerna. Om till exempel ett 100-årsregn ska simuleras över ett område där ledningsnätet har kapacitet för ett 20-årsregn kan ett 20-årsregn simuleras i ledningsnätet och ett 100-årsregn minus ett 20-årsregn på markytan. Mer om det i Metod, avsnitt 3.4.



(a) Ledningsnätet belastas först varav vatten (b) Markytan belastas med regnet som i sin tur trycks upp på ytan så att marköversvämning sker. rinner ner i ledningsnätet.

Figur 4: De två vanligaste metoderna hur regn belastas i hydrauliska modeller. Den gröna rektangeln representerar markytan medan de grå och blå rören representerar ledningsnätet.

2.7 MIKE by DHI

MIKE är utvecklat av DHI och är en programvaruserie för att modellera, simulera och analysera akvatiska miljöer som översvämningar, sedimenttransport eller vattenkvalitet (DHI u.å.). I denna rapport ligger fokus på MIKE URBAN, MIKE 21 och MIKE FLOOD eftersom det är programmen som använts.

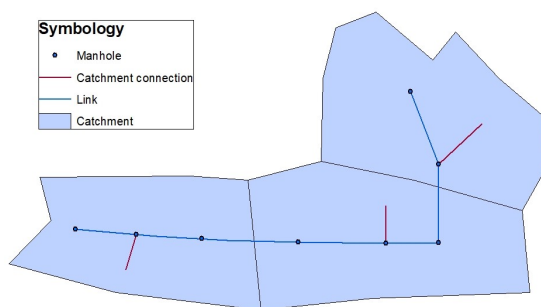
2.7.1 MIKE URBAN

MIKE URBAN är programvaran som används mest frekvent på den svenska marknaden för modellering av ledningsnät. MIKE URBAN är framtaget för att modellera ledningsnät i urbana miljöer och klarar av att modellera både separata och kombinerade system (DHI u.å.). I programvaran kan två olika verktyg användas för modellering, MOUSE eller SWMM5 (DHI 2017a). MOUSE är framtaget av DHI medan SWMM5 är utvecklat av United State Environmental Protection Agency (USEPA u.å.). I denna studie kommer MOUSE att användas varför rapporten endast redogör för detta verktyg. MOUSE simulerar ickestationära flöden och beräknar vattenflödet i ledningsnätet. Beräkningarna är baserade på Saint Venant-ekvationerna vilka grundar sig i lagen om rörelsemängdens bevarande i en dimension. I beräkningar görs antagandet att vattnet har konstant densitet (vattnet är icke kompressibelt), flödet är subkritiskt samt att bottenlutningen är liten (DHI 2017e).

Ledningar i MIKE URBAN är presenterade som *länkar* i programmet. En länk kan vara antingen en vattenledning eller ett öppet dike. Respektive länk definieras med två stycken noder vilka är punkter som markerar ledningens slut eller knytpunkt där den kopplas samman med andra ledningar. Länkar har olika egenskaper såsom geometri och friktionsfaktor vilket anges som Mannings tal, M . Lutningen hos ledningen är definierad som skillnad av bottenhöjden mellan en punkt uppströms och en punkt nedströms. Denna lutning antas vara konstant för hela ledningen. För varje länk beräknas vattennivå och vattenföring kontinuerligt över tid (DHI 2017e).

I MOUSE kan fyra olika typer av noder användas: cirkulära brunnar, bassänger, utlopp- och lagringsnoder. Varje nod är definierad med en x- och y-koordinat. Vilken nod som lämpar sig bäst för modellen beror på vad dess syfte är. En cirkulär brunn är en vertikal cylinder som är definierad utifrån sin geometri och storlek och används vid kopplade modeller. Bassänger används för dammar och andra formationer vilka har möjlighet att lagra vatten. Utloppsnoder används då ledningen ska kopplas samman med närliggande recipient, till exempel en sjö, och vid simulering av ytvavrinning kan lagringsnoder användas för att kontrollera det flödande vattnet (DHI 2017e).

Ledningsnätet är kopplat till ett antal avrinningsområden. Avrinningsområdena är geografiska polygoner vilka representerar hydrologiska urbana avrinningsområden. Varje avrinningsområde är kopplat till en nod i ledningsnätet via *catchment connections*. Genom *catchment connections* kan regn ta sig från avrinningsområdet till den kopplade noden och ner i ledningsnätet. Regnfilen består av ett CDS-regn med en viss varaktighet och volym. Regn simuleras genom att köra en så kallad avrinningsfil och en networkfil vilket fyller upp ledningsnätet med vatten (DHI 2017d). Figur 5 visar uppbyggnaden av MIKE URBAN.



Figur 5: MIKE URBAN är uppbyggd av ledningar, noder (så kallade manhole) och avrinningsområden är kopplade i MIKE URBAN. De blåa punkterna beskriver noder, det lila området beskriver avrinningsområdena, den blå linjen beskriver ledningarna och de lila linjerna beskriver *catchment connections*.

2.7.2 MIKE 21

MIKE 21 är ett verktyg för att simulera tvådimensionella ytflöden och är framtaget främst för att beskriva processer längst kust och hav men kan även användas för att beskriva översvämningar över landområden. Beräkningsnätet i MIKE 21 baseras på Naiver-Stokes ekvationer som bygger på bevarande av massa och rörelsemängd. Programmet utgörs av ett antal moduler och en av de mest centrala när det gäller översvämmodellering är den hydrodynamiska modulen (HD). Denna kan i sin tur kombineras med andra moduler i programmet för att beskriva exempelvis transport och flöden. Beräkningar i modellen utförs via en så kallad dubbelsvepsalgoritm vilket innebär att differentialekvationerna beräknas en dimension i taget och alternerar mellan x-och y-led (DHI 2017a).

Konstruering av modellen kräver att vissa parametrar definieras. Om modellering ska utföras över ett landområde innebär det att alla parametrar inte behöver tas med, till exempel kan corioliseffekten försummas. Den viktigaste parametern i modellbeskrivningen i MIKE 21 är att definiera topografin för modellområdet. Detta görs i MIKE 21 genom att specificera ett beräkningsnät vilket beskriver topografin då den inte är täckt med vatten. Om detta görs korrekt kan mycket beräkningstid sparas vid simuleringen. Utöver detta måste även randvillkor, tidssteg, infiltrationskapacitet och markens råhet definieras, samt villkor för när celler i modellen är översvämmade (DHI 2017b). Nedan följer beskrivningar av följande inparametrar.

Beräkningsnät

En av de viktigaste parametrarna för en 2D-modell är beräkningsnätet vilket beskriver terrängen i området. Modellen är uppbyggd av ett rutnät som består av rektangulära celler, alla med samma storlek. Storleken på cellerna utgör upplösningen i modellen där mindre celler ger bättre upplösning vilket ger en bra beskrivning av topografin (DHI 2017a). En låg upplösning kan ge felaktiga resultat då vägar, byggnader och naturområden kan smetas ut vilket kan ge en större översvämningsutbredning och i sin tur ger mindre översvämningsdjup. Dock ger en hög upplösning långa simuleringstider varför hänsyn måste tas till vilken noggrannhet som väljs vid simuleringar. Det är rekommenderat att använda en upplösning mellan 1-5 m i urban miljö. I Sverige finns laserskannad data som har en upplösning på 2x2m som är tillgänglig för stora delar av landet men ofta har kommunen ännu mer noggrann data. Vid konstruering av beräkningsnät är det eftersträvat att ha en modell med tillräckligt bra upplösning men som ger en rimlig simuleringstid (MSB 2017).

Infiltration

För att beskriva hur vatten interagerar med markytan används infiltration. Denna beskriver med vilken hastighet vattnet tar sig ner genom markytan till underliggande jordlager. Ytans egenskaper spelar stor roll för infiltrationen och hårdgjorda ytor så som vägar och byggnader brukar antas vara impermeabla. Markens egenskaper och sammansättning som jordart, kornstorlek och vattenhållande förmåga spelar också stor roll. En finkorning jord med god vattenhållande förmåga såsom lera har generellt en låg infiltrationskapacitet medan sand har en högre infiltrationskapacitet (Gustafsson & Mårtensson 2014). I MIKE 21 krävs indata för porositet, mäktighet, läckagehastighet och initial vattenvolym. Infiltrationshastigheten beskriver hastigheten från den markytan till den omättade zonen. Porositet beskriver andelen luftfyllda porer som finns i jorden och mäktighet beskriver infiltrationslagrets djup. Läckagehastigheten anger flödet mellan den omättade zonen till den mättade zonen i jordlagret. När infiltrationslagret är fyllt övergår infiltrationshastigheten till läckagehastigheten. Den sista parametern som måste anges är initial vattenvolym vilket anger den initiala volym vatten som finns i infiltrationslagret som procentandel av den totala lagringsvolymen.

Markens råhet

Markens råhet beskriver flödesmotståndet på ytan och ofta brukar Mannings tal, M användas. Med Mannings tal tillsammans med ett antal andra parametrar i ekvation 2 kan vattenhastigheter över en yta beräknas. Mannings tal definieras som inversen av friktionsfaktorn, n .

Ju högre friktion ett material har desto lägre blir Mannings tal. Hårdgjorda ytor som vägar och byggnader brukar generellt erhålla värdet 50 medan bevuxna ytor brukar erhålla värdet 2. Det visar sig att vattenmassor som flödar över ytor med högt Mannings tal genererar en större utbredning men ett mindre djup. Därför är denna parameter viktig att ta hänsyn till vid skyfallskartering och översvämningsmodellering.

$$v = M \cdot R^{3/2} \cdot \sqrt{I} \quad (2)$$

v = Hastighet [m/s]

M = Mannings tal [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$]

R = Hydraulisk radie [m]

I = Lutning [m/m]

Flood and Dry

I 2D-modellering i MIKE 21 används parametern *Flood and Dry* för att definiera vid vilken vattennivå en cell är översvämmad. För att ansätta värden finns två olika parametrar, h_{wet} och h_{dry} där användaren ansätter värden vilka motsvarar en vattennivå när beräkningscellen är torr eller våt. Värden måste alltid sättas så att $h_{wet} > h_{dry}$. När en cell är torr kommer den inte inkluderas i beräkningen. Så fort värdet överstiger h_{wet} kommer beräkning av cellen ske och generera en vattennivå i resultatfilen. En cell kan bli översvämmad genom en extern källa, till exempel genom att regn eller att vatten svämmar upp ur brunnar i kopplade modeller. Celler kan även bli översvämmade genom att vatten flödar från närliggande celler. Detta sker då en cell har ett mindre värde i beräkningsnätet än den översvämmade cellen (DHI 2017b).

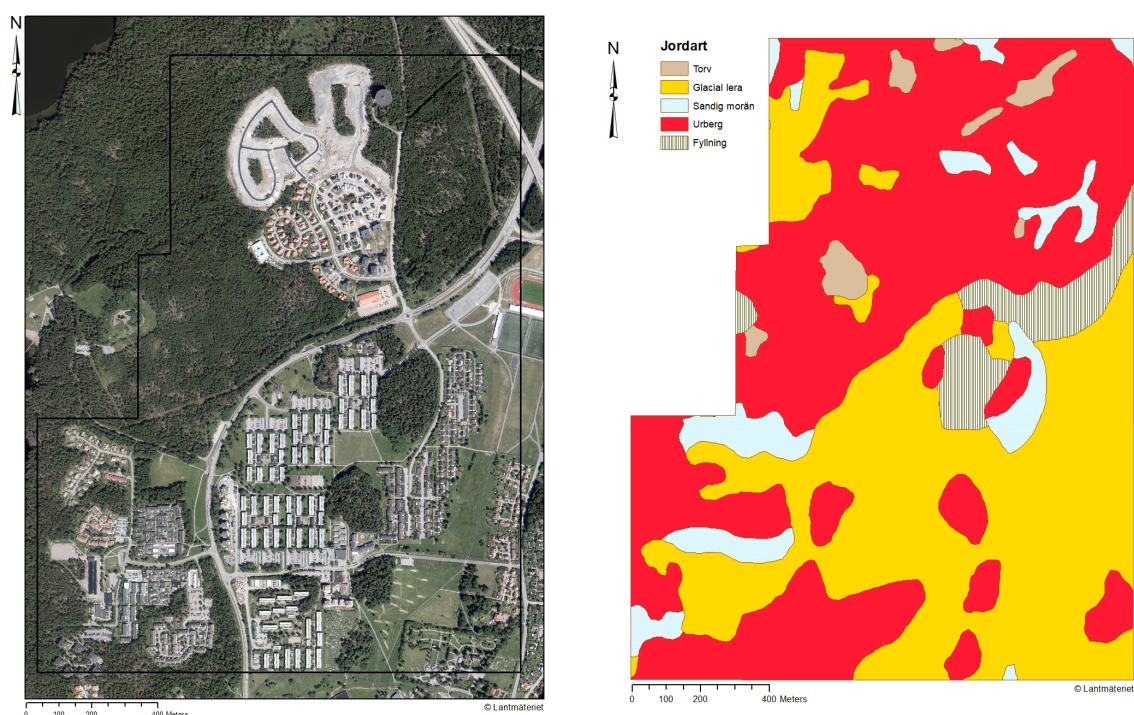
2.7.3 MIKE FLOOD

MIKE FLOOD är en programvara som kan koppla samman endimensionella modeller i MIKE URBAN tillsammans med tvådimensionella modeller i MIKE 21, vilket skapar en dynamisk kopplad modell som beskriver både vattnet på markytan och i ledningsnät. Kopplingen av modellerna görs via så kallade länkar och beroende på vad som ska simuleras kan olika typer av länkar användas. För att simulera översvämnningar i urbana förhållanden kan kopplingar göras genom *Urban links*. Dessa länkar är i verkligheten brunnar av olika typer och dimensioner vilka definieras i MIKE FLOOD och tillåter vatten att flöda genom de båda modellerna. Det är därför viktigt att placera dessa där modellerna interagerar med varandra. Om *Urban links* används måste maxflöde och dimensioner för varje brunn anges. Värdena som anges är bestämmande för hur mycket vatten som kan flöda genom brunnen på en viss tid och genom vilken area. Standardinställningarna i MIKE FLOOD är 100 l/s för maxflödet och 0,16 m² för flödesarean (DHI 2017c).

3 METOD OCH MATERIAL

3.1 Beskrivning av området

Det undersökta området ligger i Upplands-Bro kommun ca 40 km nordväst om Stockholm. Upplands-Bro är en snabbt växande kommun och har i dagsläget ca 28 000 invånare (SCB 2017; SCB 2019). Modellområdet är en liten del av Upplands-Bro som heter Kungsängen där både grönytor och bebyggelse förekommer, se figur 6a. Större delen av bostäderna i området är byggda under 60- och 70-talet men det finns även nyare delar från 2006 och 2015 (Ranlund 2019). I bostadsområdena finns dagvattensystem som via rännstensbrunnar avleder dagvatten ner till ledningsnätet. Marken består till mesta del av lera och urberg men partier av morän, torv och fyllning förekommer, se figur 6b.



(a) Ortofoto över området. Bostadsområden, skogsmark och grönområden förekommer.

(b) Jordartskarta över området. Lera och urberg är mest dominerande.

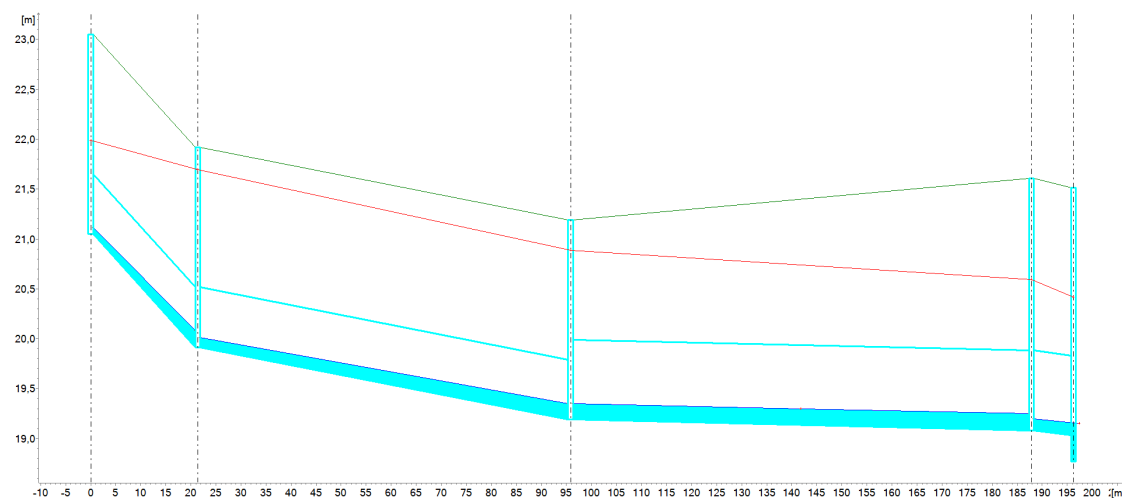
Figur 6: Markanvändning och jordarter i området. Den svarta randen i (a) markerar modellområdets gränser. Ortofotot samt jordartskartan är hämtade från ©Lantmäteriet.

3.2 Beskrivning av modellerna

I detta arbetet byggdes en 2D-modell i MIKE 21 vilken beskriver markytan. Denna kopplades sedan ihop med en befintlig 1D-modell för ledningsnätet i MIKE URBAN. Kopplingarna mellan modellerna utfördes i programmet MIKE FLOOD. Nedan beskrivs modelluppställning, hur beräkningarna är utförda samt val och parametrar.

3.2.1 MIKE URBAN

En 1D-ledningsnätsmodell i MIKE URBAN tillhandahölls av Upplands-Bro kommun. Ledningsnätsmodellen är sekretessbelagd och kommer därför inte visas i denna rapport. Modellen är uppbyggd av ledningar, noder och utlopp. Innan någon koppling gjordes studerades ledningsnätsmodellen noga för att undersöka och förstå uppbyggnaden. Modellen innehöll från början inte alla brunnar som i verkligheten är kopplade till ledningsnätet, såsom rännstensbrunnar, utan innehöll initialt endast huvudbrunnar. Huvudbrunnar är fiktiva brunnar som är dimensionerade för att ta emot ett högt flöde som ska representera ett flertal rännstensbrunnar. Anledningen till att huvudbrunnar används är att när modeller konstrueras i MIKE URBAN görs förenklingar och ofta antas allt vatten flöda genom huvudbrunnar istället för ett flertal rännstensbrunnar. Detta beror dels på tidsaspekten och dels på tillgången av data (Landahl 2019). För att avgöra vilken kapacitet ledningsnätet hade belastades modellen med olika regn motsvarande 5-årsregn, 10-årsregn och 20-årsregn. Detta gjordes genom att ladda in så kallade avrinnings-filer och network-filer med olika regn till ledningsnätet i MIKE URBAN. Därefter studerades trycklinjerna vilka genererats då regnet laddats in. Trycklinjerna visar vattentrycket i ledningen och beskriver hur fullt ledningsnätet är. När trycklinjen överstiger markytans nivå har ledningsnätet överstigit sin kapacitet, se figur 7 för en exempelprofil. Efter att ha studerat samtliga ledningar visade det sig att olika delar av ledningsnätet hade olika kapacitet. En generalisering gjordes och kapaciteten för ledningsnätet sattes till ett 20-årsregn och ett 5-årsregn.

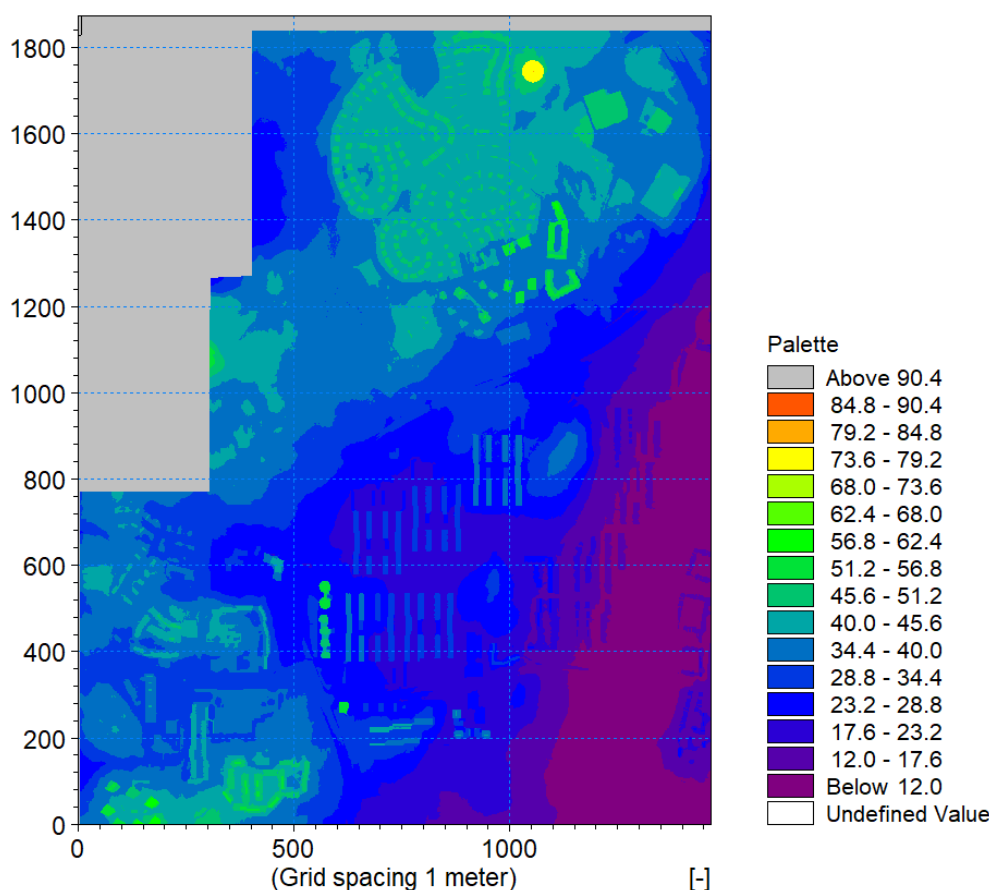


Figur 7: Exempel över hur en profil kan se ut efter att ha simulerat ett 20-årsregn. Den gröna linjen symboliserar markytan och den röda linjen representerar trycklinjen för ett 20-årsregn. Den turkosa färgen uppkommer när en ledning i modellen är markerad och dess tjocklek har ingen extra betydelse.

3.2.2 MIKE 21

Beräkningsnät

Beräkningsnätet togs fram genom GIS-bearbetning av höjddata som erhållits av Upplands-bro kommun. Höjddatan bestod av så kallad LAS-data vilket är framtagen genom laserskanning av området. Noggrannheten för skanningen var gjord med upplösning på 1x1 m. Två datafiler erhöles av Upplands-Bro kommun som representerade markytans och byggnadernas topografi. Dessa filer slogs samman med hjälp av GIS-verktyget *Mosaic to new raster*. I området finns en del gångbroar under större vägar. I höjdmodellen visas det som två stycken lågpunkter på var sin sida om vägen. För att inte låta vatten ansamlas i punkterna utan möjliggöra för vatten att fortsätta flöda togs broarna bort. Efter bearbetning importerades datan till MIKE 21 genom verktyget *GrdtoMike*. Genom att använda *True land values* inaktiverades celler som inte innehöll någon data vilket gjorde att inget vatten kunde flöda därigenom. Områden som erhöill *True land values* med värdet 100 var den nordvästra och norra delen, se grått område figur i 8, samt en rand runt domänen. Detta för att säkerställa att inget vatten kunde lämna modellen utan endast infiltrera i marken, nå en brunn eller rinna via utlopp ut ur modellen.



Figur 8: Beräkningsnätet för modellområdet. Den gråa färgen beskriver *True Land Values* vilka är inaktiva celler och de andra färgerna symboliserar höjder i modellen.

Infiltration

Markens infiltrationskapacitet bestämdes av jordartens infiltrationshastighet, porositet, mäktighet, läckagehastighet och initiala vattenvolym och baserades på markanvändning och jordart i området. Hårdgjorda ytor så som byggnader och vägar antogs inte ha någon infiltrationskapacitet. Värdena som användes presenteras i tabell 1. En generalisering gjordes för postglacial lera och glacial lera där båda erhöll värdet för lera. Sandig morän sattes som morän och för fyllning gjordes antagandet att infiltrationshastighet var 100 mm/h vilket är ett värde som ligger mellan infiltrationshastigheten för friktionsjord och finkorning jord.

På samma sätt som för beräkningsnätet skapades enskilda lager för porositet, mäktighet, initiala vattenmättnad samt läckagehastighet i ArcMap. Filerna konverterades sedan till en dfs2-fil och lades in i infiltrationsmodulen och användes i den hydrauliska modelleringen. Lagerfiler kan ses i bilaga B.

Tabell 1: Parametrar för infiltration för olika jordarter som användes för uppbyggnad av markmodellen.

Jordart	Infiltrations-hastighet [mm/h]	Porositet [-]	Mäktighet [m]	Läckage-hastighet [mm/h]	Initial vattenvolym [%]
Lera	4	0,4	0,3	0,4	45
Torv	18	0,4	0,3	2	40
Morän	36	0,4	0,3	0,36	30
Fyllning	100	0,4	0,3	5	25
Hårdgjorda ytor	0	0,05	0,1	0	0
Urberg med tunt jordtäck	36	0,4	0,1	0,04	20

Markens råhet

För att beskriva markens råhet användes Mannings tal. Ett antagande gjordes där naturmark erhöll Mannings tal 2 och hårdgjorda ytor såsom byggnader och vägar erhöll Mannings tal 50. Dessa värden är ett bra antagande för att beskriva hårdgjorda ytor och naturmark (Gustafsson & Mårtensson 2014). På samma sätt som infiltrationen skapades ett lager i ArcMap vilken sedan exporterades till MIKE 21. I figur 9 visas lagret som representerar olika värden för Mannings tal.

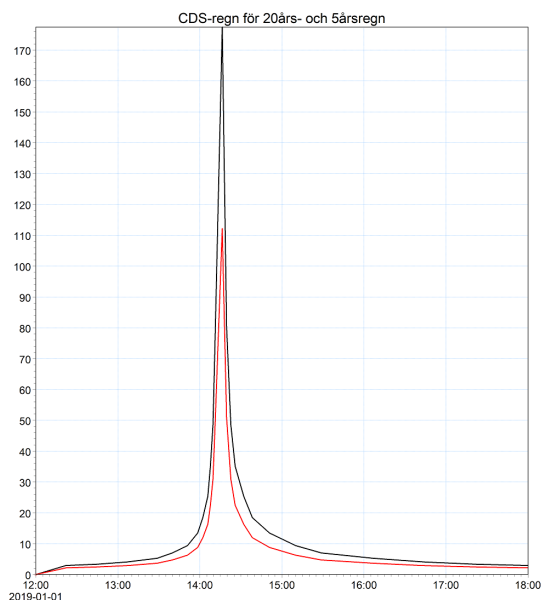


Figur 9: Den svarta färgen beskriver byggnader och vägar vilka ansattes till Mannings tal 50 och den blå färgen beskriver övrig markyta med Mannings tal 2.

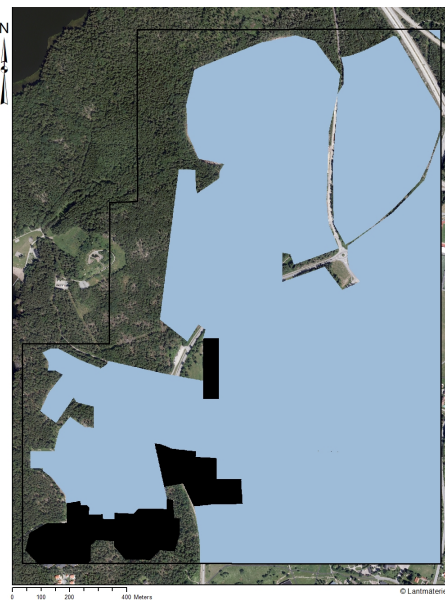
Nederbörd

Efter att ha studerat de båda modellerna konstaterades det att den längsta rinntiden för systemet var 6 h. Rinntiden definieras som den tid de tar för vatten att transportera sig från den mest avlägsna punkten i systemet till utloppet. Enligt Svenskt Vattens publikation P110 ska varaktigheten för regnet som används vara minst lika lång som rinntiden (Svenskt Vatten 2016). Därför sattes varaktigheten till 6 h. Regnet som användes var ett CDS-regn med en återkomsttid på 100 år vilket motsvarar en total volym på 105 mm. Detta skapades utifrån Dahlströms ekvation (2010) (ekv 1) i en dfs0-fil. En klimatfaktor på 1.25 multiplicerades till regnvolymen för att ta hänsyn till framtida klimat. Anledningen till att ett 100-årsregn valdes var för att modellerna inte skulle gå torra och för att kunna undersöka vad som hände i kopplingar mellan modellerna. Regnet simulerades på olika sätt i de olika scenarierna. I det ena scenariot simulerades regnet enbart på markytan. I det andra scenariot simulerades regn

motsvarande ledningsnätets kapacitet i ledningsnätet och resterande på markytan. Det sistnämnda skapades genom att koppla samman ett lager i GIS vilket representerade kapaciteten för de olika delarna av ledningsnätet, se figur 10b. Detta kopplades sedan samman med en regnfil som beskrev intensiteten över tid, figur 10a.



(a) CDS-regn med 5-årsregn (röd linje) och 20-årsregn (svart linje). Grafen visar flödet [mm/h] över den totala varaktigheten 6 timmar.



(b) Den blå området har en kapacitet för ett 20-årsregn och det svarta området har en kapacitet för ett 5-årsregn.

Figur 10: 5-års och 20-årsregn kopplades samman med specifika områden.

3.3 Modelluppställning

Nedan visas inparametrar som hölls konstanta i MIKE 21 modellen och MIKE URBAN modellen för samtliga körningar.

Domän: Beräkningsnätet som skapats användes som Domän. *True Land Value* sattes till 100 m och en rand sattes runt hela modellområdet så att inget vatten kunde flöda ur modellen.

Tid: Simuleringstiden var 6 timmar. Tidssteget i MIKE 21 sattes till 0,5 s och i MIKE URBAN till 1 s.

Val av modul: Modulen som användes vid beräkningarna var *Hydrodynamic module*.

Flood and dry: Värdet på när cellerna ansågs torra h_{dry} sattes till 0,002 m och när cellerna var översvämmade h_{wet} sattes till 0,003 m.

Utlopp ur domän från markyta: Modellen innehöll tre stycken utlopp där vatten kunde flöda ut med en hastighet på 0,5 m³/s i MIKE 21 modellen.

3.4 Koppling av modeller i MIKE FLOOD

I MIKE FLOOD kopplades markmodellen samman med ledningsnätsmodellen. Detta gjordes genom att länka de båda filerna som skapats i de olika programmen. Därefter kopplades noderna (brunnarna) i ledningsnätsmodellen samman med celler i markmodellen. Nio stycken celler kopplades till varje nod. Detta gjordes i ett 3 x 3 rutnät där mittenrutan motsvarade brunnens koordinat. Anledningen till detta var för att allt vatten som fanns på markytan med säkerhet skulle nå noden och ha möjlighet att kunna rinna ner till ledningsnätet. Alla kopplingar studerades noga för att säkerställa att celler som var kopplade till olika noder inte överlappade varandra, då det kan resultera i volymfel. I de fall där kopplingar överlappade togs kopplingen bort manuellt så att noden kopplades till färre celler.

Totalt gjordes sex stycken simuleringar. För alla scenarier simulerades ett 100-årsregn men på olika sätt. I det ena fallet (scenario 1a, 2a, 3a) ansattes ett 100-års CDS-regn enbart i markmodellen. Regnet konstruerades med hjälp av Dahlströms formel, se ekvation 1. En klimatfaktor på 1,25 adderades för att ta hänsyn till framtidens klimat. I det andra fallet delades regnet upp mellan markmodellen och ledningsnätsmodellen (scenario 1b, 2b, 3b) och tre nya regnfiler skapades. Den två första filerna var regnfiler som representerade ett 20-årsregn och ett 5-årsregn. De kopplades sedan till de ytor som motsvarade kapaciteten för ledningsnätet, se figur 10, och användes som regnfiler i MIKE URBAN. För markmodellen skapades en dfs2-fil där ett visst regn kopplades till en specifik yta. För ytorna där avdrag för ledningsnätet gjordes, lades ett 100-årsregn minus ett 20-årsregn, och ett 100 års-regn minus ett 5-årsregn in. Tabell 2 beskriver vilka parametrar som använts för respektive scenario.

Tabell 2: Parametrar som använts för de olika scenarierna. Det beskriver hur regnet är applicerat, vilken typ av brunn som är kopplad, antalet kopplingar samt vilka värden som använts som maxflöde och dimension för brunnarna.

Scenario	Applicering av regn	Typ av koppling	Max. Q & dim. för brunn	Antal kopplingar
Scenario 1a	Markyta	Huvudbrunnar	standardinställningar	247
Scenario 1b	Markyta och ledningsnät	Huvudbrunnar	standardinställningar	247
Scenario 2a	Markyta	Huvudbrunnar	Beräknat	247
Scenario 2b	Markyta och ledningsnät	Huvudbrunnar	Beräknat	247
Scenario 3a	Markyta	Rännstensbrunnar	Beräknat	617
Scenario 3b	Markyta och ledningsnät	Rännstensbrunnar	Beräknat	617

3.4.1 Scenario 1 - Huvudbrunnar med standardinställningar för maxflöde och dimension för brunnar

I det första scenariot kopplades huvudbrunnar mellan markmodell och ledningsnät. I MIKE FLOOD krävs att maxflöde och dimensioner på brunnar anges för samtliga kopplingar. De första simuleringarna som utfördes (1a och 1b) ansattes standardinställningar med maxflöde 100 l/s och flödesarea genom brunnen till 0,16 m².

3.4.2 Scenario 2 - Huvudbrunnar med beräknat maxflöde och dimension för brunnar

I scenario 2 kopplades huvudbrunnarna men till skillnad från scenario 1 beräknades värdena för maxflöde och dimension för brunnarna. För att få fram ett maxflöde för varje brunn beräknades flödet från hårdgjorda ytor. Ett antagande gjorde att en rännstensbrunn hade kapacitet att avvattna ett 400 m² område med hårdgjorda ytor. Detta är ett erfarenhetsvärde och brukar användas vid modellering (Landahl 2019). För varje avrinningsområde som tillhörde ledningsnätet beräknades hur många rännstensbrunnar som skulle krävas för området. Varje rännstensbrunn antogs ha kapaciteten 20 l/s, vilket ofta används för rensade rännstensbrunnar (Salomonsson m fl. 2017). Det totala flödet för de beräknade rännstensbrunnarna i avrinningsområdet fördelades sedan ut på antalet huvudbrunnar som fanns i ledningsnätet i respektive avrinningsområde. Till exempel om storleken på ett avrinningsområde var 1200 m² gjordes antagandet att tre stycken rännstensbrunnar skulle finnas i området. Om det i sin tur bara fanns en huvudbrunn i området vilken representerade de tre rännstensbrunnarna, så skulle huvudbrunnen få maxflödet 60 l/s.

För att även ta hänsyn till flödet från takytor gjordes beräkningar med rationella metoden, se ekvation 3. Den totala takytan beräknades för respektive avrinningsområde med hjälp av olika verktyg i ArcMap. Tillsammans med en avrinningskoefficient som ansattes till 1 och maxintensiteten för ett 100-årsregn beräknades flödet från takytor. Figur 11 visar fördelningen av de olika flödena som användes där medelflödet var 98 l/s. Det totala flödet för brunnarna i respektive avrinningsområde erhöles genom att addera flödet från de två beräkningarna.

$$q_{dim} = A \cdot \varphi \cdot i(t_r) \quad (3)$$

q_{dim} = Dimensionerande flöde [l/s]

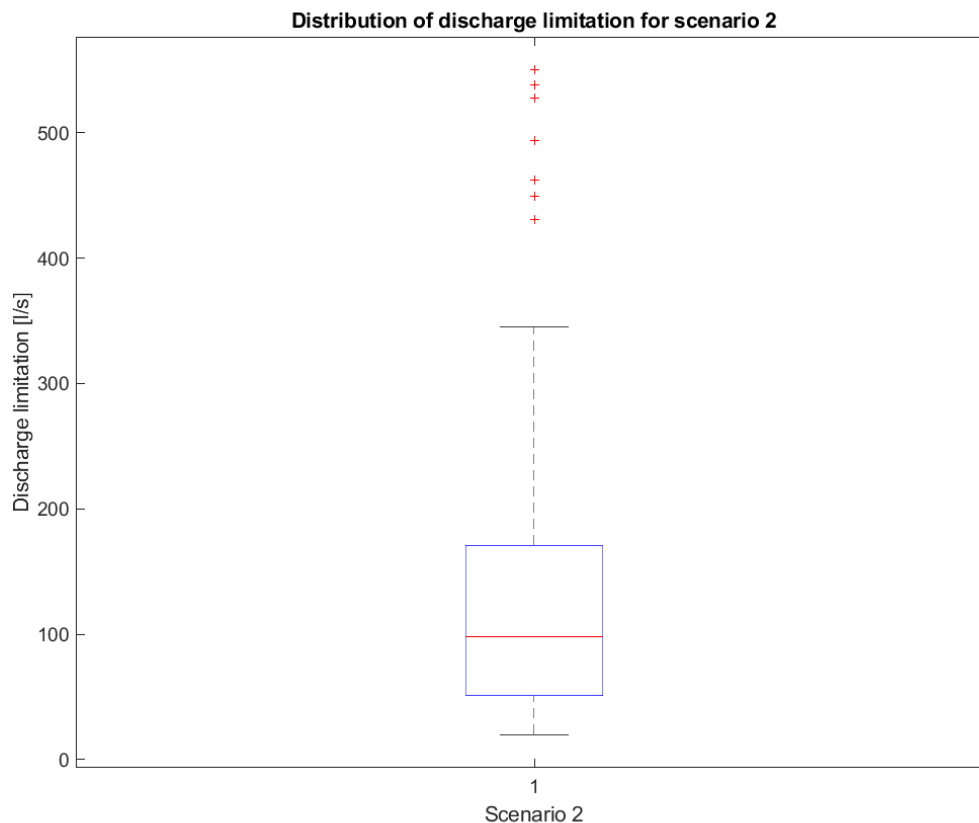
A = Avrinningsområdets area [ha]

φ = Avrinningskoefficient [-]

$i(t_r)$ = Dimensionerande regnintensitet [l/s ha]

t_r = Regnets varaktighet [min]

Brunnsdimensioner baserades på storleken på ledning som respektive brunn var kopplad till. Brunnar som var kopplad till en ledning med diameter mindre än 400 mm erhöles tvärsnittsarean 0,16 m², vilket var standardinställningen. Brunnar som var kopplade till ledningar som var större än så erhöles tvärsnittsarean 0,79 m². Det symboliserade en brunn med diametern 1000 mm. Denna metod anses lämplig att använda om diametern på brunnen är okänd (Blomquist m fl. 2016). Ledningarnas dimensioner undersöktes genom att studera ledningsnätsmodellen i MIKE URBAN. Undersökningen visade att 181 st brunnar erhöles tvärsnittsarean 0,16 m² och 66 st brunnar erhöles tvärsnittsarean 0,79 m².



Figur 11: Fördelning av maxflöden för brunnarna som användes för scenario 2.

3.4.3 Scenario 3 - Lågpunktskartering och placering av brunnar

Underlag med information om brunnar i området erhöles från Upplands-Bro kommun. Då endast ett fåtal rännstensbrunnar var utsatta placerades fler brunnar ut manuellt. För att veta var brunnarna borde placeras gjordes en lågpunktskartering i ArcMap. Lågpunktskarteringen utfördes med hjälp av en metodik som beskrivs i Länsstyrelsen i Jönköpings län (2015) i programmet ArcMap. Resultatet av beräkningarna som tidigare gjorts angående antal rännstensbrunnar som skulle finnas i varje område användes, se avsnitt 3.4.2. Rännstensbrunnarna placerades ut i lågpunkter och rinnvägar längst gator. Totalt placerades 616 st rännstensbrunnar ut. För att koppla ihop rännstensbrunnar till ledningsnät behövde nya ledningar skapas. Detta gjordes i ArcMap genom att skapa polylines mellan rännstensbrunnar och närmsta huvudbrunn, vilken i sin tur var kopplad till en ledning. Rännstensbrunnarna och de nya ledningarna importerades sedan till MIKE URBAN. Med hjälp av höjdmodellen kunde marknivå ansättas till varje brunn. Diametern för samtliga rännstensbrunnar sattes till 0,6 m. Ledningarna placerades 0,8 m under markytan och ledningen som valdes var en 160 PP ledning vilket är en ledning av plastmaterial som har ytterdiameter 160 mm och innerdiameter 139 mm och är en vanlig typ av ledning som brukar användas (Ahlseil u.å.). Därefter simulerades model-

lerna i MIKE FLOOD. Tabell 3 visar de olika input-värdena för maxflöde och dimensioner som användes för brunnarna för samtliga scenarier.

Tabell 3: Flödesbegränsningar och dimensioner som ansattes till brunnarna för respektive scenario. Max Q och Min Q beskriver det störst och minsta värde en brunn kunde ha som maxflöde. Max dim. och Min dim. beskriver maximala och minimala flödesarean som användes för brunnarna.

Scenario	Min Q [l/s]	Max Q [l/s]	Min dim. [m ²]	Max dim. [m ²]	Antal kopplingar
Scenario 1a	100	100	0,16	0,16	247
Scenario 1b	100	100	0,16	0,16	247
Scenario 2a	20	550	0,16	1,98	247
Scenario 2b	20	550	0,16	1,98	247
Scenario 3a	20	20	0,18	0,18	617
Scenario 3b	20	20	0,18	0,18	617

4 RESULTAT

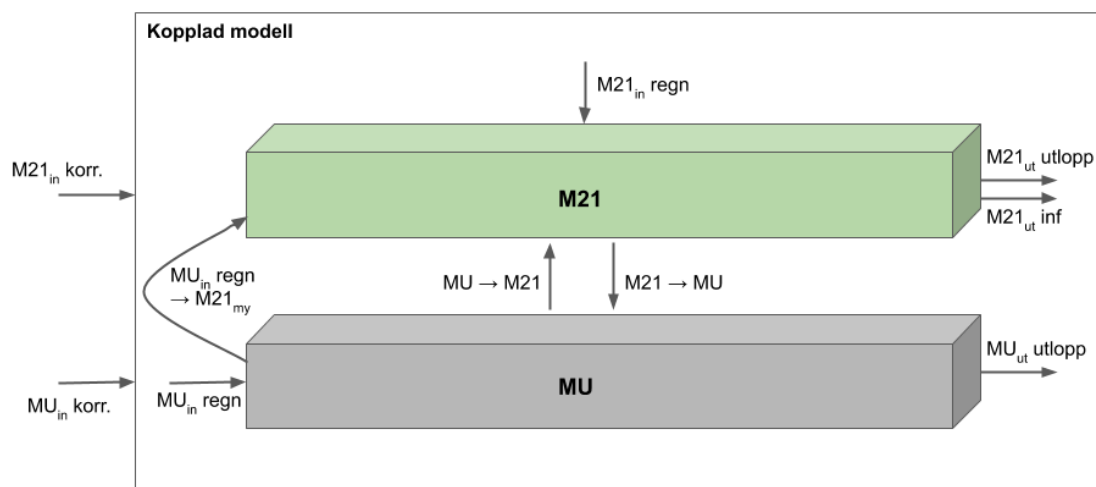
I detta avsnitt presenteras resultaten från de olika simuleringarna i form av översvämningskartor, tabeller och grafer. Tryckprofilerna som visas är endast exempel och visar trycket över ett specifikt område och kan inte generaliseras för hela modellen.

4.1 Vattenvolym för olika scenarier

I tabell 4 presenteras vattenvolymer för samtliga simuleringar som gjorts. Tabellen beskriver hur mycket vatten som går in och ut ur respektive modell samt hur mycket vatten som flödar mellan modellerna. Totalt har 239 205 m³ vatten simulerats som regn i samtliga modeller, varav ca 30 % av regnet i ledningsnätet då regn varit uppdelat. Vatten har flödat olika mycket mellan modellerna. Från MIKE 21 till MIKE URBAN har mest vatten flödat för scenario 3a och minst för scenario 2b. Från MIKE URBAN till MIKE 21 har mest vatten flödat för scenario 3b och minst för scenario 2a. Figur 12 illustrerar hur volymerna i tabell 4 rör sig till, från och mellan MIKE 21 och MIKE URBAN. I tabellen finns en korrektionsfaktor vilken beskrivs som *korr.* Faktorn beskriver en vattenvolym som MIKE-programmen applicerar automatiskt för att erhålla stabila simuleringar. Denna volym är alltså utöver den vattenvolym som applicerats via regn och önskas vara så liten så möjligt. I bilaga A presenteras översvämningskartor för samtliga scenarier.

Tabell 4: Vattenvolymer för olika scenarier för MIKE 21 (M21) och MIKE URBAN (MU) där val av regnsimulering och koppling varierats. Enheter för samtliga värden är m³. *Regn* syftar till det regn som simulerats, *korr.* syftar till en korrektionsfaktor där vatten automatiskt lagts in i modellerna, *utlopp* syftar till vatten som flödat ut ur modellerna via utlopp, *inf* syftar till vatten som har infiltrerat i marken och *regn till M21_{my}* syftar till vatten som inte fått plats i ledningsnät och istället lagts på ytan i MIKE 21. Slutligen beskrivs flödena mellan MIKE 21 och MIKE URBAN som M21 → MU och MU → M21.

	Scenario 1a	Scenario 1b	Scenario 2a	Scenario 2b	Scenario 3a	Scenario 3b
M21 _{in} regn	239 205	167 654	239 205	167 654	239 205	167 654
M21 _{in} korr.	48 608	52 705	48 591	52 688	48 674	53 235
M21 _{ut} utlopp	32 400	32 400	32 400	32 400	32 400	32 400
M21 _{ut} inf	63 285	60 910	63 286	60 908	63 283	60 936
MU _{in} regn	0	67 638	0	66 875	0	71 551
MU _{in} regn till M21 _{my}	0	3 913	0	4 676	0	0
MU _{in} korr.	8 539	7 840	7 853	7 839	7 883	7 902
MU _{ut} utlopp	52 524	77 577	47 719	75 978	38 708	81 865
M21 → MU	44 423	18 159	37 315	15 572	45 724	19 967
MU → M21	2 346	4 430	1 549	4 043	6 402	8 575



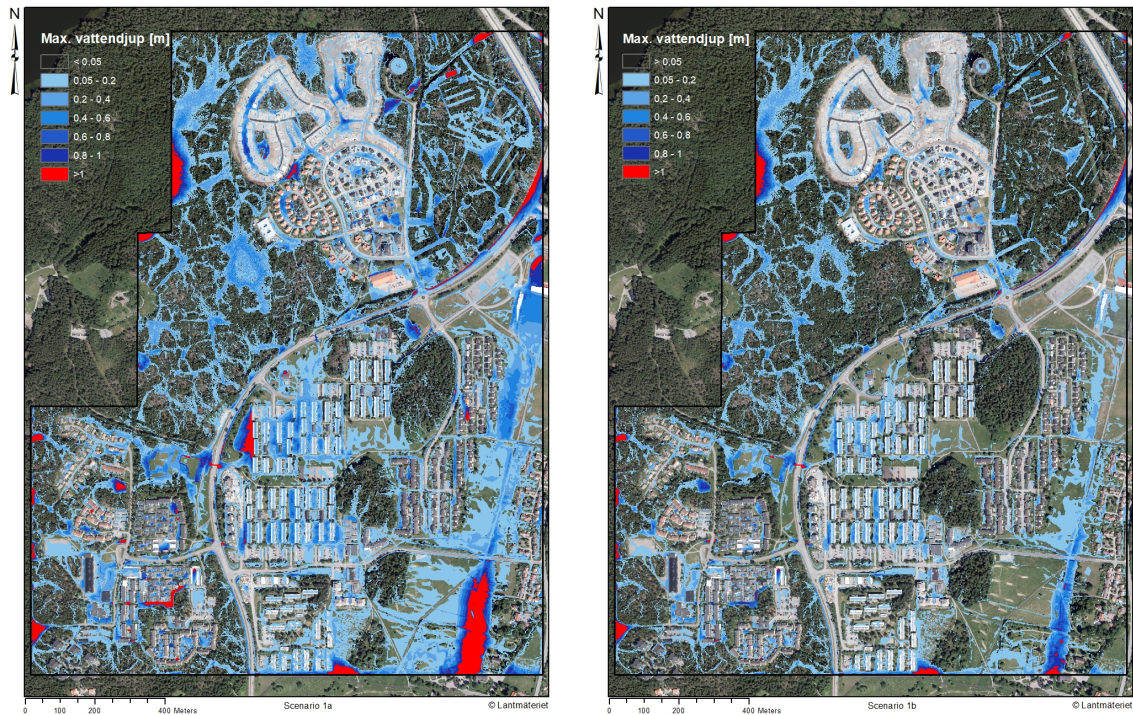
Figur 12: Konceptuell modell över flödena som presenteras i tabell 4. Den stora rutan symboliserar den kopplade modellen, den gröna rutan representerar MIKE 21 (M21) och den grå runta representera MIKE URBAN (MU).

4.2 Simulering med standardinställningar för brunnar - Scenario 1

I detta avsnitt presenteras resultaten från simuleringar där regn simulerats på olika sätt med standardinställningar. Den maximala utbredningen och vattendjupet inträffade efter sex timmar vid simuleringens slut och därför analyseras de resultaten. Figur 13a och 13b visar översvämningsutbredning och översvämningsdjup över modellområdet för scenario 1a och 1b. Resultatet visar att översvämningsutbredningen är mer omfattande för scenario 1a än scenario 1b. I slutet av körningen är det 73 661 m³ mer vatten i scenario 1a än 1b och 7 891 m³ mindre i ledningsnätet, vilket presenteras i tabell 5. Observera att det endast är vattenvolymer som ligger kvar i modellområdet vid det sista tidssteget som presenteras i tabell 5, och inte vatten som flödat ut ur eller mellan modellerna. Skillnaden i vattenutbredning och vattendjup kan ses i figur 14 som visar en differensskarta där positiva värden symboliserar högre värden för scenario 1a och negativa värden symboliserar högre värden för scenario 1b. Vattennivåer som överstiger en meter symboliseras med röd färg. I figur 13a förekommer många områden längst kanterna där vattennivån överstiger en meter. Detta är en konsekvens av randvillkoren som gör att vatten inte har någon möjlighet att rinna över randen och därför fås en ansamling av vatten. Ansamlingen uppkommer alltså endast på grund av modellkonstruktionen och är inget som skulle visat sig i verkligheten.

Tabell 5: Visar vattenfördelningen i respektive modell efter 6 h.

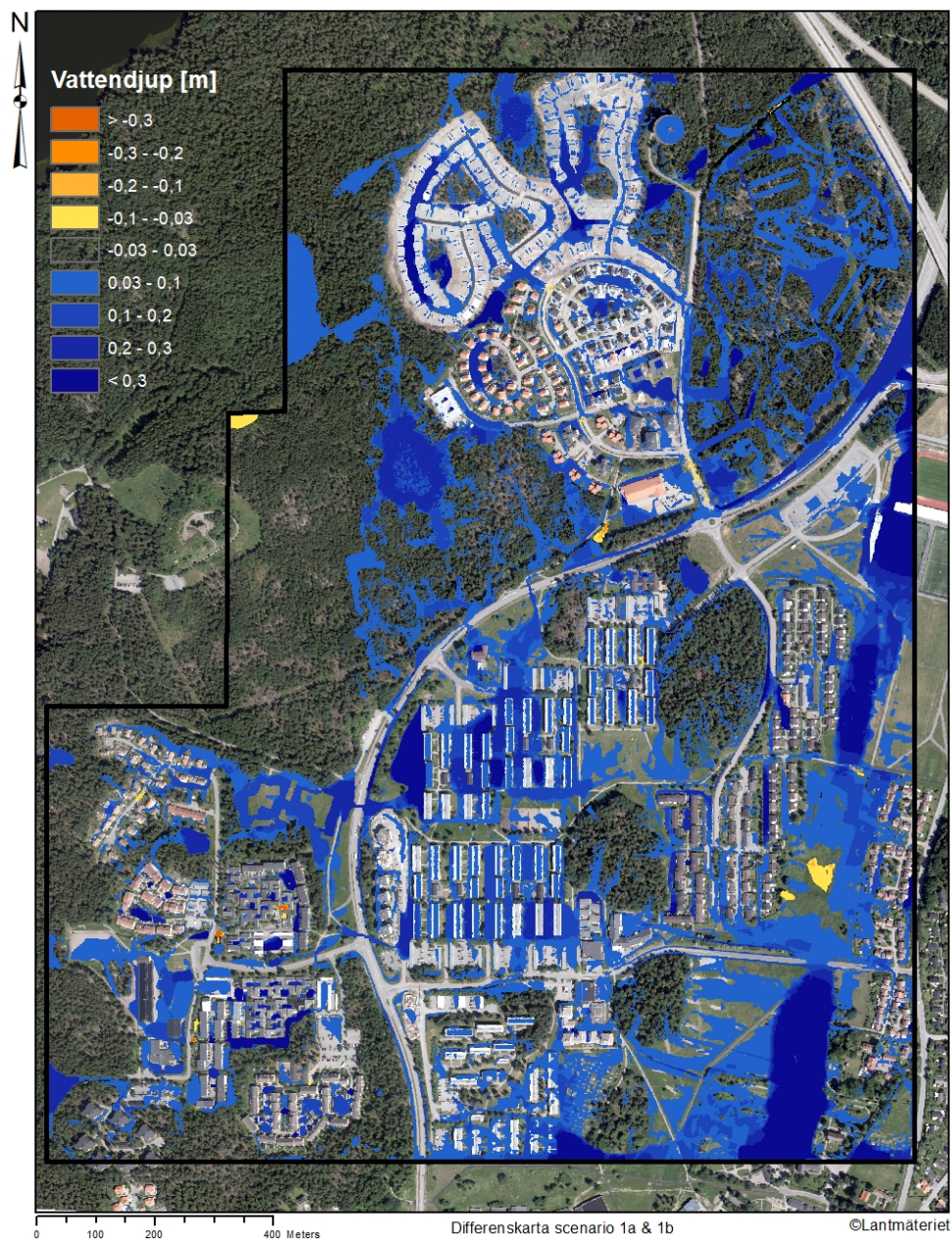
Scenario	Volym M21 _{final} [m ³]	Volym MU _{final} [m ³]
Scenario 1a	146 459	14 435
Scenario 1b	72 798	22 326



(a) Översvämningsutbredning och översvämningsdjup för scenario 1a. Ortofotot är hämtad från ©Lantmäteriet.

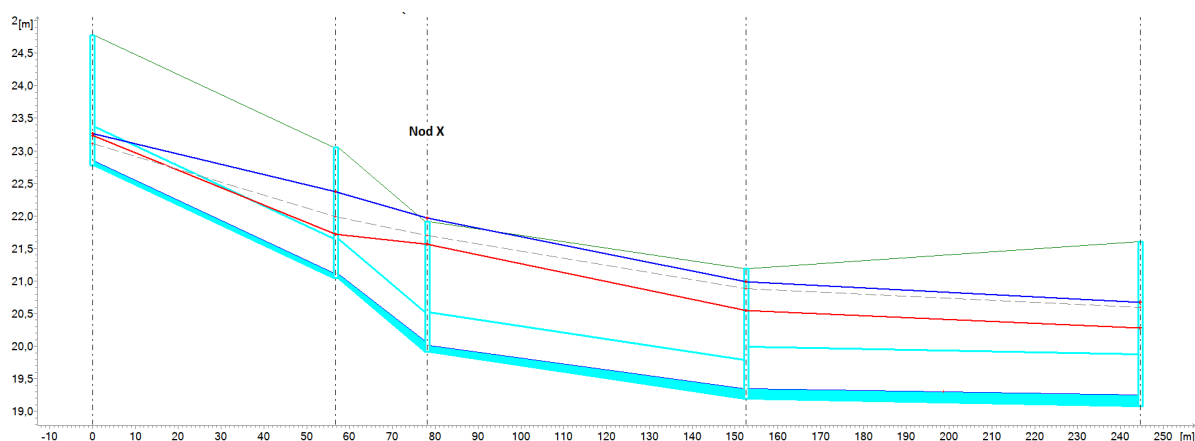
(b) Översvämningsutbredning och översvämningsdjup för scenario 1b. Ortofotot är hämtad från ©Lantmäteriet.

Figur 13: Översvämningsutbredning och översvämningsdjup för scenario 1a och 1b där regn simulerats på markytan respektive regnets simulerats uppdelat över markytan och ledningsnät. Den röda färgen indikerar när vattennivån överstiger 1 m.

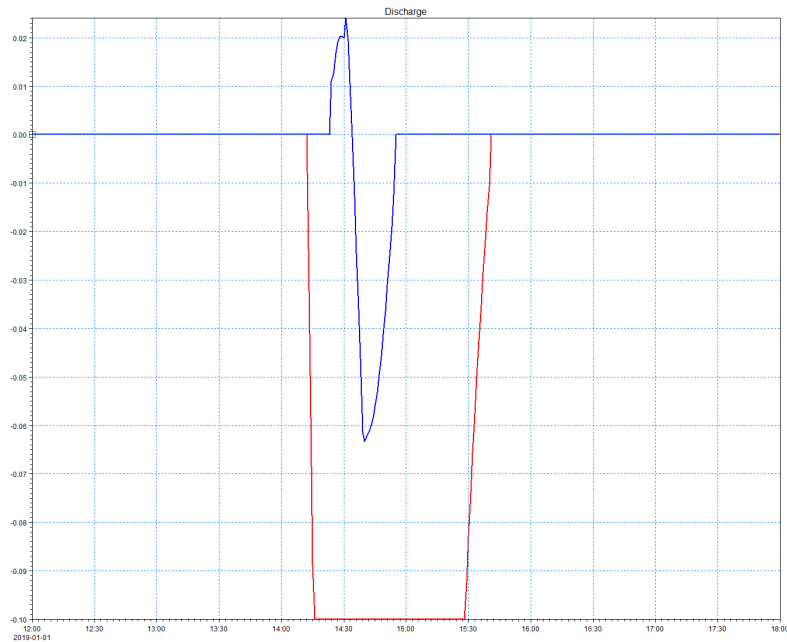


Figur 14: Differenskartan över översvämningsutbredning och översvämningsdjup mellan scenario 1a och 1b. Positiva värden (blå färg) visar områden där vattennivån är högre för scenario 1a medan negativa värden (gul färg) visar områden där vattennivån är högre för scenario 1b. Kartan visar att utbredningen är större för scenario 1a där regnet simulerats på markytan. Ortofotot är hämtat från ©Lantmäteriet.

Figur 15 visar en representativ profil för scenario 1a och 1b över en sträcka på ca 150 m. Det visas tydligt att trycket är större för scenario 1b än för scenario 1a. Den gråa streckade linjen representerar trycklinjen för ett 20-årsregn som simulerats enbart i ledningsnätet. Trycklinjen för 20-årsregnet är mindre än scenario 1b men större än scenario 1a. I figuren är nod X markerad där trycklinjen för scenario 1b överstiger markytan vilket resulterar i att vatten trycks upp på markytan. Flödet mellan modellerna för den utmärkta nod X visas i figur 16. För positiva värden flödar vatten från ledningsnätet till markytan, och för negativa värden från markytan till ledningsnätet. För scenario 1b flödar vatten både till och från MIKE 21 medan för scenario 1a flödar vatten endast till MIKE URBAN med ett maxflöde på 100 l/s.



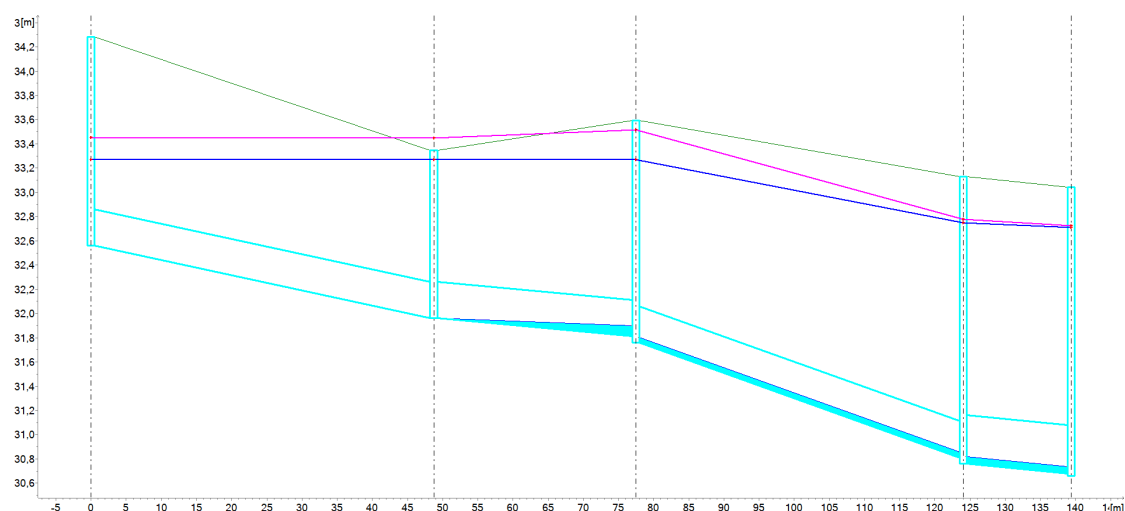
Figur 15: Profil över en del av ledningsnätet som visar trycklinjer för scenario 1a (röd linje) och 1b (blå linje). Den gröna linjen representerar markytan och den grå streckade linjen representerar simulering av ett 20-årsregn i ledningsnätet.



Figur 16: Flödet [m^3/s] i nod X från MIKE URBAN till MIKE 21 som funktion av tiden. För scenario 1a (röd linje) flödar vatten med maxflöde 100 l/s till MIKE URBAN medan scenario 1b (blå linje) flödar till en början till MIKE 21 innan flödet byter riktning till MIKE URBAN.

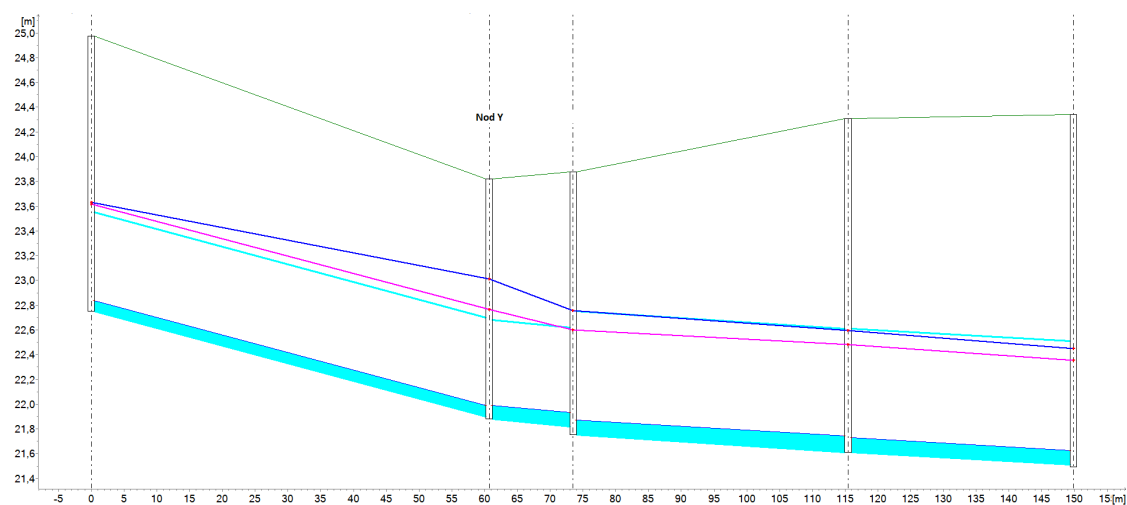
4.3 Simulering med flödes- och dimensionsbegränsning för brunnar - Scenario 2

För att undersöka hur flödesbegränsningar och brunnsdimensioner påverkade resultatet har scenario 1b och 2b jämförts. Figur 17 visar en annan representativ profil i ledningsnätet. I detta fall är trycklinjen högre för scenario 2b (rosa linje) än 1b (blå linje). Brunnarna som är kopplade mellan modellerna kan ta emot ett större flöde i scenario 2b, vilket genererar en högre trycklinje i profilen till följd av att en större volym vatten kan rinna ner till ledningsnätet.



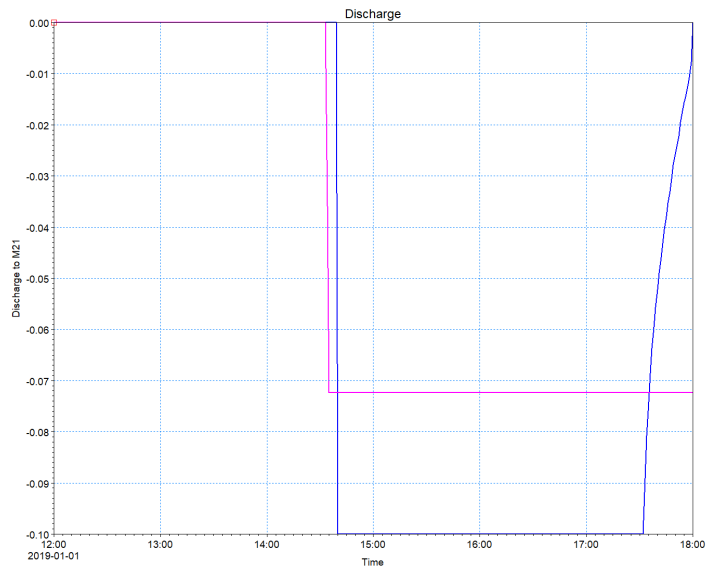
Figur 17: Trycklinjer i profil för scenario 1b (blå linje) och scenario 2b (rosa linje). Flödesbegränsningen för brunnarna som är kopplade är större för scenario 2b än 1b. Trycklinjen som representerar ett 20-årsregn som simulerats enbart i ledningsnätet ligger under trycklinjen för scenario 1b.

En annan ledning som ligger längre nedströms i ledningsnätet har högre tryck i scenario 1b, se figur 18. I detta fall är flödesbegränsningarna för brunnarna i scenario 2b upp till 3 gånger mindre än för scenario 1b. Resultatet blir att mindre vatten rinner ner till ledningsnätet och trycklinjen i profilen blir mindre för scenario 2b. Detta kan jämföras med föregående figur 18 där trycklinjen var högre för scenario 2b.



Figur 18: Trycklinjer i profil för scenario 1b (blå linje) och scenario 2b (rosa linje). Flödesbegränsningen för brunnarna som är kopplade är större för scenario 1b än 2b. Trycklinjen som representerar ett 20-årsregn som simulerats enbart i ledningsnätet ligger under trycklinjen för scenario 1b.

Flödet mellan modellerna i den markerade nod Y för profilen visas i figur 19. Scenario 1b har en flödesbegränsning på 100 l/s och scenario 2b har en flödesbegränsning på 73 l/s. Det resulterar i att inte lika mycket vatten rinner ner till ledningsnätet och trycklinjen för scenario 2b blir mindre än 1b. Efter undersökning av hela ledningsnätet visade det sig att trycklinjen scenario 1b var större än scenario 2b för en majoritet av ledningar.



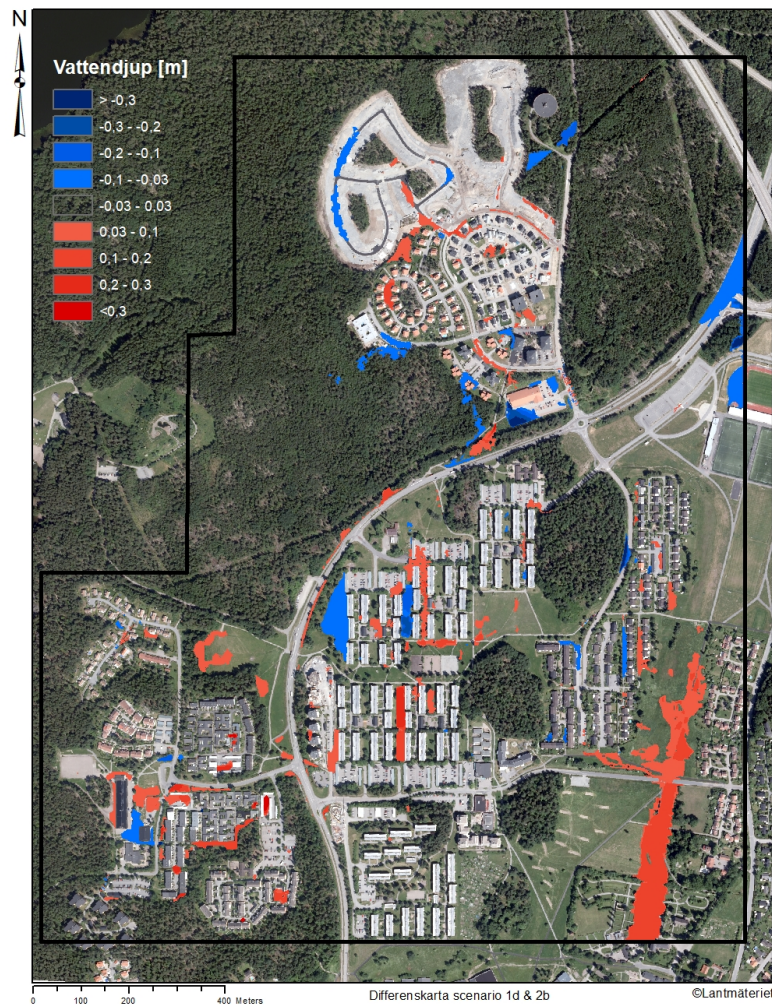
Figur 19: Flödet i nod Y mellan MIKE URBAN och MIKE 21. Flödesbegränsningen är mindre för scenario 1b (blå linje) än 2b (rosa linje). Positiva värden indikerar att vatten rinner från MIKE URBAN till MIKE 21 och negativa värden tvärtom.

4.4 Simuleringar med olika brunnskopplingar - Scenario 3

I detta avsnitt presenteras och jämförs simuleringar där rännstensbrunnar och huvudbrunnar kopplats mellan modellerna. Tidigare resultat visade att simuleringarna blev mer verklighets-troliga när regn delades upp mellan ledningsnät och markyta och därför jämfördes scenario 2b och 3b, och inte 2a och 3a. Scenario 2b representerar huvudbrunnar med flödesbegränsningar och scenario 3b med rännstensbrunnar. Differenskarta mellan de två scenarierna kan ses i figur 20. Tabell 6 visar andelen vatten som ligger på markytan respektive i ledningsnätet efter simuleringens slut. På markytan var det störst volym vatten för scenario 2b medan det var störst volym vatten i ledningsnätet för scenario 3b.

Tabell 6: Vattenvolymer i de olika modellerna vid simuleringens slut. Enheter för samtliga värden är m^3 .

Scenario	Volym M21 _{final} [m^3]	Volym MU _{final} [m^3]
Scenario 2b	75 753	21 842
Scenario 3b	71 364	23 177



Figur 20: Differenskartan mellan scenario 2b och 3b. Positiva värden (röd färg) visar där vattennivån är högre för scenario 2b medan negativa värden (blå färg) visar där vattennivån är högre för scenario 3b. Ortofotot är hämtat från ©Lantmäteriet.

4.5 Utvalda områden

I detta avsnitt presenteras vattenflöde och flödesvolym i ledningsnätet för tre utvalda områden. Områdena benämns som område A, B och C och är markerade i figur 21. Område A ligger centralt i ledningsnätet, område B ligger i utkanten och område C ligger längst ledströms i ledningsnätet. Det visade sig för samtliga fall att maxflödet i ledningarna var högre när rännstensbrunnar var kopplade. Den totala volymen skilde sig dock åt för de olika fallen.



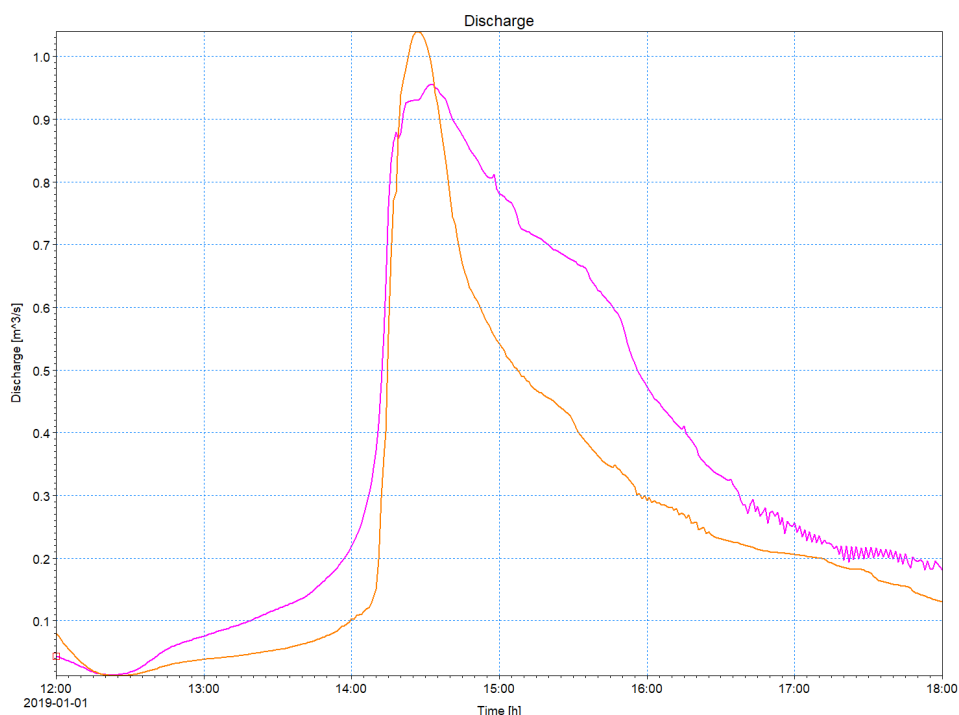
Figur 21: De röda ringarna visar geografisk plats för område A, B och C. Område A ligger centralt i ledningsnätet, område B ligger i utkanten och område C ligger längst nedströms i ledningsnätet. Ortofotot är hämtad från ©Lantmäteriet.

4.5.1 Område A

I område A jämförs flöde och volym där fyra stycken huvudbrunnar är kopplade för scenario 2b och 15 stycken rännstensbrunnar för scenario 3b. Brunnarna är kopplade till ledning A1-4 som undersökts där A1 ligger längst uppströms och A4 längst nedströms, se tabell 7. Resultatet visar att maxflödet blir högre för scenario 3b men den totala vattenvolymen genom ledningen blir större för scenario 2b. Tabell 7 presenterar maxflöde och vattenvolym som transporteras genom ledningen. Figur 22 visar flödet i ledning A4 som funktion av tiden.

Tabell 7: Maxflöde samt volymer som flödar i ledningar nedströms kopplad huvudbrunn. n beskriver antalet rännstensbrunnar som är kopplade per huvudbrunn, Q beskriver flödet i nedströms ledning och V beskriver volym vatten genom ledningen för respektive scenario.

Ledning	n	Q_{2b} [l/s]	Q_{3b} [l/s]	V_{2b} [m ³]	V_{3b} [m ³]
Ledning A1	8	573	604	71,6	49,6
Ledning A2	2	616	655	73,8	58,5
Ledning A3	4	766	804	93,2	66,0
Ledning A4	1	956	1 039	127	93,2



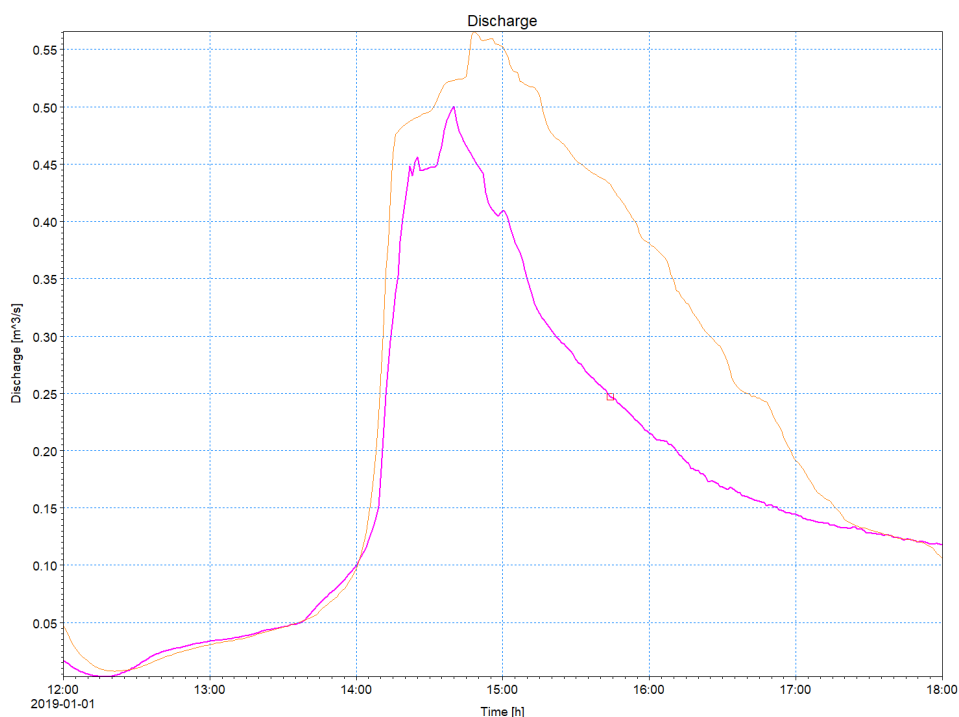
Figur 22: Flöde i ledning A4 som funktion av tiden. Den rosa linjen representerar koppling med huvudbrunnar (2b) och den orangea linjen representerar koppling med rännstensbrunnar (3b).

4.5.2 Område B

I område B jämförs flöde och volym där tre stycken huvudbrunnar är kopplade för scenario 2b och 10 stycken rännstensbrunnar för scenario 3b. Resultatet visar att både maxflödet och den totala vattenvolymen blir större för scenario 3b. Tabell 8 presenterar maxflöde och vattenvolym som transporteras genom ledningen. Figur 23 visar flödet i ledning B3, vilken ligger längst nedström, som funktion av tiden.

Tabell 8: Maxflödet samt volymen som flödar i ledningar nedströms kopplad huvudbrunn. n beskriver antalet rännstensbrunnar som är kopplade per huvudbrunn, Q beskriver flödet i nedströms ledning och V beskriver volym vatten genom ledningen för respektive scenario.

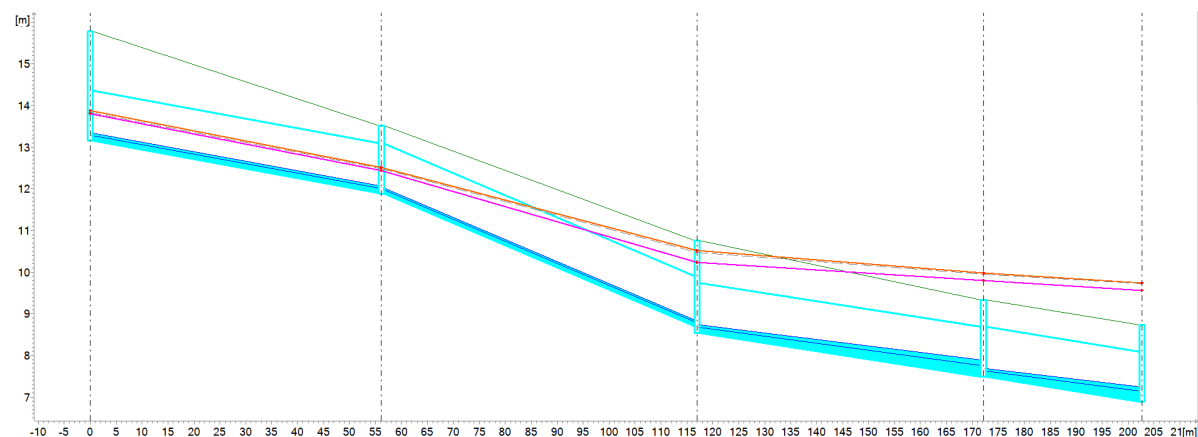
Ledning	n	Q_{2b} [l/s]	Q_{3b} [l/s]	V_{2b} [m ³]	V_{3b} [m ³]
Ledning B1	4	310	369	45,0	61,7
Ledning B2	4	422	505	55,9	77,4
Ledning B3	2	500	656	62,19	84,1



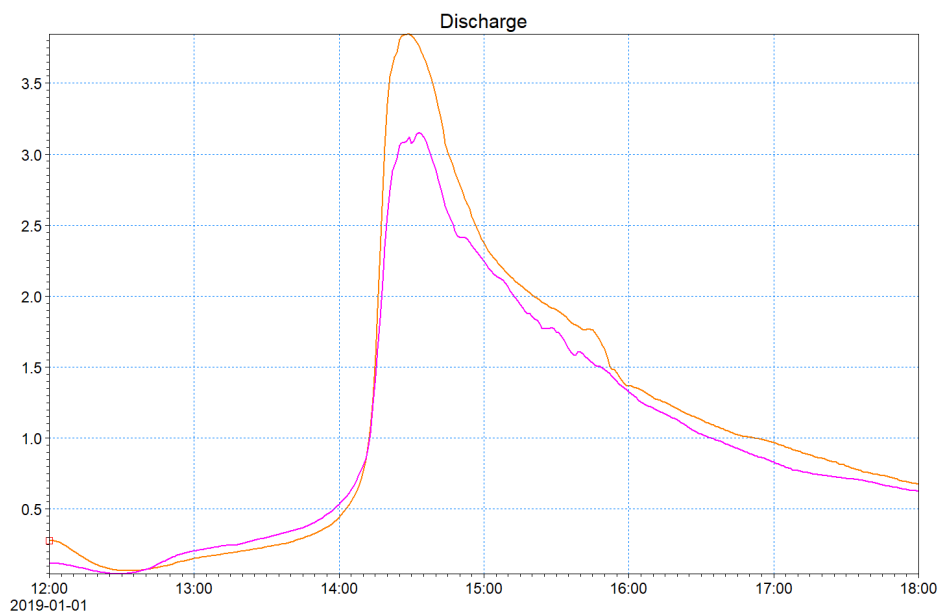
Figur 23: Flödet i ledning B3 som funktion av tiden. Den rosa linjen representerar koppling med huvudbrunnar (2b) och den orangea linjen representerar koppling med rännstenbrunnar (3b).

4.5.3 Område C

Område C ligger längst nedströms i ledningsnätet och är ledningen där allt vatten flödar ut genom. Figur 24 visar trycklinjerna i ledningen där trycket är något högre för scenario 3b i hela profilen. Anledningen till att båda trycklinjerna ligger över markytan i det högra partiet är eftersom denna ledning är kopplad till huvudledningen i nätet. I huvudledningen är flödet stort vilket gör att vatten från den studerande ledningen stoppas upp. Figur 25 visar flödet genom en ledning på sträckan där maxflödet för scenario 3b är större än 2b.



Figur 24: Trycklinje i profil i område C för scenario 2b (rosa linje) och 3b (orange linje). Den grå streckade linjen visar trycklinje för ett 20-årsregn.



Figur 25: Flöde i ledning för område C som funktion av tiden för scenario 2b (rosa linje) och 3b (orange linje). Både maxflöde och total volym är större för scenario 3b.

5 DISKUSSION

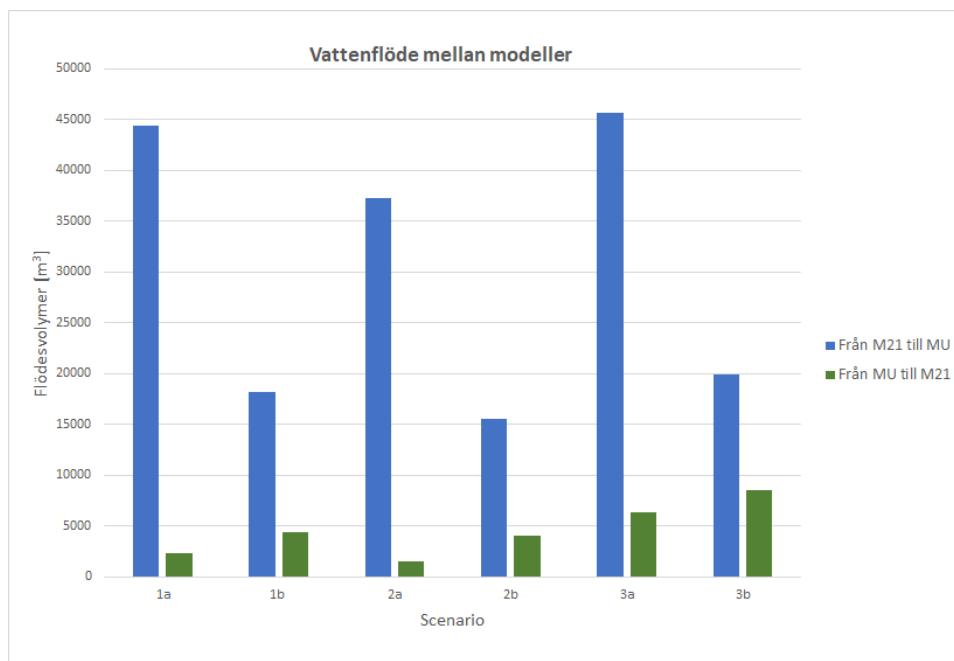
5.1 Vattenvolym för olika scenarier

Resultaten från simuleringarna visade att vattenvolymer som rört sig till, från och emellan modeller varierade för de olika scenarierna. I tabell 4 presenteras utöver regnvolymer infiltrationsvolym, volym till utlopp, vattenvolymer som rör sig mellan modellerna och korrektionsvolymer. Vattenvolymer som går till infiltration är ungefär samma för alla scenarier. Den är något högre för a-scenarier vilket troligen beror på att en större volym vatten har applicerats i markmodellen vilket gjort att en större andel volym har kunnat infiltrera. Dock är skillnaderna små vilket är rimligt eftersom samma inställningar för infiltration har används för samtliga scenarier. Vattenvolymer som rinner ut ur modellen via utlopp i MIKE 21 är lika för alla scenarier. Detta eftersom att ett kriterium ansattes att en viss volym vatten tilläts flöda ur modellen för att inga stora vattenansamlingar skulle fås vid randen. Däremot skiljer sig volymen som flödat ut ur MIKE URBAN för de olika scenarierna då MIKE URBAN tillåter en större volym vatten flöda ut. Mer vatten flödar ut för b-scenarier än a-scenarier vilket kan förklaras med att en större volym vatten fanns i ledningsnätet och på så sätt haft möjlighet att flöda ut ur modellen. Vattenvolymer som simuleras som regn i MIKE URBAN men som går till markytan i MIKE 21, skiljer sig även för de olika scenarierna. Detta förklaras noggrannare i avsnitt 5.2.

Figur 26 visar hur mycket vatten som har flödat mellan markyta och ledningsnät. Volymererna är hämtade från tabell 4 och figuren har konstruerats för att visualisera de olika flödena. I scenarier där regn simulerats på markytan (a-scenarier) var flödet från markytan till ledningsnät högre än där regn simulerats uppdelat över markytan och ledningsnätet (b-scenarier). Resultatet är väntat eftersom ledningsnätet från start var tomt för alla a-scenarier och kapacitet i ledningsnätet fanns för vatten att rinna ner. Anledningen till att flödet inte var lika stort från markyta till ledningsnät för b-scenarierna är till största del för att inte lika mycket vatten legat på markytan och kunnat rinna ner till ledningsnätet. En annan anledning är att ledningsnätet på många ställen nått sin fulla kapacitet eftersom att regn redan applicerats i ledningsnätet och inte kunnat ta in mer vatten från ytan. Brunnarna har fyllts och inget vatten har kunnat flöda ner till ledningsnätet och vattnet har därför hamnat på ytan, vilket i sin tur inte gett något flöde mellan modellerna. Resultatet går hand i hand med att flödet från ledningsnät till markyta är större för scenarier där regn simulerats uppdelat över markytan och i ledningsnätet (b-scenarier), jämfört med simulering av regn enbart på markytan (a-scenarier) om scenarierna analyseras enskilt (jämför 1a med 1b osv). I b-scenarierna har ledningsnätet fyllts upp och när trycket blivit för högt har vatten tryckts upp på markytan. Figur 26 visar att flödet är som högst från ledningsnät till markyta för scenario 3b när rännstensbrunnar är kopplade.

En jämförelse mellan de olika scenarierna visar att vatten flödar som mest mellan modellerna för scenario 3 då rännstensbrunnar är kopplade, både till och från MIKE 21 och MIKE URBAN. Detta är ett resultat av att flera brunnar är kopplade vilket genererar ett bättre vattenutbyte mellan modellerna. Vatten har både möjlighet att ta sig ner till ledningsnätet samt att trycka upp på markytan. Vatten flödar som minst för scenario 2 där huvudbrunnar är kopplade med beräknade flödes- och dimensionsbegränsningar för brunnar. Resultatet visar att ju

fler brunnar som är kopplade desto större blir vattenutbytet. I en kopplad modell önskas ett stort vattenutbyte mellan modellerna. Det visar på att ledningsnätet fyllts upp, vilket det bör av ett 100-årsregn, och att vatten kan tränga upp på ytan där kapaciteten för ledningsnätet är liten. Utifrån resultatet är simuleringar med rännstensbrunnar att föredra även om arbetsåtgången och tidsinsatsen är högre än om huvudbrunnar används eftersom att det ger ett mer trovärdigt resultat.



Figur 26: Flödesvolymerna mellan modellerna för de olika scenarierna. De blåa staplarna representerar flöde från MIKE 21 (M21) till MIKE URBAN (MU) och de gröna staplarna representerar vattenflöde från MIKE URBAN till MIKE 21.

Korrektionsvolymerna i tabell 4 är vattenvolymerna som modellerna själva adderar. Anledningen till detta är för att modellerna aldrig ska gå torra och för att modellerna ska uppnå stabilitet. Korrektionsvolymerna önskas vara små eftersom det definierar en stabil modell. Resultatet visar att korrektionsvolymerna är relativt stora för samtliga scenarier och kan bero på olika faktorer. Om tidssteget är stort eller om infiltrationskapaciteten eller markens råhet är över- eller underskattad kan det ge upphov till att vattennivån blir felaktig beräknad vilket gör att vattennivån hamnar under nivån för cellen. Programmet adderar vatten till modellerna för att motverka detta. Tidssteget för MIKE 21-modellen är satt till 0,5 s och tidssteget för MIKE URBAN-modellen är satt till 1 s. För MIKE URBAN var det minsta tidssteget som kunde väljas 1 s. För MIKE 21 ansågs 0,5 s som ett rimligt tidssteg att använda då det ansågs ge en hyfsad stabil modell samtidigt som simuleringstiden ansågs rimlig. Det är mer troligt att korrektionsfaktorn är hög på grund av inställningarna för infiltrationkapaciteten eller markens råhet. Värdena för samtliga parametrar är generaliserade vilket kan vara en förklaring.

Exempelvis är markens råhet endast beskriven med två olika värden för området, ett för hårdgjorda ytor och ett för naturmark. Om denna beskrivning gjorts noggrannare är det möjligt att resultatet blivit annorlunda. Om mer tid fanns skulle detta vara av intresse att undersöka.

5.2 Olika simuleringar av regn

För samtliga scenarier simulerades regn på två olika sätt - över markyta och över markyta och ledningsnät. För att undersöka skillnader har scenario 1a och 1b jämförts. I de flesta fall när kopplade modeller används är huvudbrunnar kopplade och därför valdes ett sådant scenario när simulering av olika regn skulle jämföras. Anledningen till att scenario 1 valdes och inte scenario 2, var på grund av att mer vatten flödade mellan modellerna för scenario 1 då huvudbrunnar var kopplade, se figur 26. Översvämningen blev mer omfattande för scenario 1a där allt regn simulerats på markytan jämfört med scenario 1b där regnet delats upp över ledningsnät och yta. Detta kan tydligt ses i figur 14 vilken visar differensen mellan de olika scenarierna. I differenskartan erhåller nästan alla vattennivåer positiva värden vilket betyder att vattennivån är högre för scenario 1a. Vid undersökning av översvämningskartan visade det sig att vatten istället ansamlats i lågpunkter som inte låg i anslutning till brunnar. Eftersom kopplingar i detta fall endast gjorts med huvudbrunnar är det endast på ett begränsat antal platser vatten har möjlighet att rinna ner till ledningsnätet. Resultatet blir en omfattande marköversvämning och ett icke-fyllt ledningsnät. Om detta jämförs med scenario 1b där regn är uppdelad över markyta och ledningsnät, fylls ledningsnätet upp i en betydligt större grad vilket ses på trycklinjerna i profilerna. Här flödar vatten även upp och ner mellan de olika modellerna, vilket visas i figur 16.

Jämförelse av vattenvolymer på markytan för scenario 1a och 1b visar att det är 73 661 m³ mer i scenario 1a än 1b, se tabell 5. Skillnaderna i resultatet när regn simuleras olika med samma koppling blir därför stora. Det kan tyckas att scenario 1a är ett mer passande sätt att applicera regn på eftersom att det är så regn faller i verkligheten. Dock visar resultaten i denna studie att med endast huvudbrunnar inkopplade, vilken är den vanligaste metoden då skyfallskartering med kopplade modeller görs, klarar inte modellerna av att släppa igenom tillräckligt mycket vatten så att ledningsnätet fylls. Jämförelsen visar att det inte är flödesbegränsningarna som i första hand styr om vatten rinner ner i ledningsnätet eller ej, utan det är snarare placering av brunnarna som avgör.

Något som var uppseendeväckande när scenarier med huvudbrunnar och rännstensbrunnar jämfördes var hur regnet fördelade sig då regn applicerats uppdelat över ledningsnät och markyta. Det visade sig att allt regn som simulerats i ledningsnätsmodellen i scenario 1b och 2b inte hamnade i ledningsnätet. Av det totala regnet, 71 551 m³, hamnade 3 913 m³ respektive 4 676 m³ istället på markytan för scenario 1b och 2b, vilket visas i tabell 6. Anledningen till detta är att regn som simuleras i ledningsnätet appliceras i ett första steg i det tillhörande avrinningsområdet. Avrinningsområdet är kopplat till en specifik brunn i ledningsnätet via *catchment connections* och rinner sedan genom den kopplade brunnen ner i ledningsnätet. Eftersom CDS-regn använts för simulering av regn både i ledningsnät och på markytan ligger intensitetsmaximum i samma tidpunkt. När vatten simuleras samtidigt i båda modellerna blir

det konkurrens om platsen eftersom att brunnen har en begränsad flödeskapacitet. Om brunnen blir full lägger MIKE URBAN automatiskt regnet på markytan ovanpå den brunn som den är kopplad till. Så är fallet för både scenario 1b och 2b. Konsekvensen blir en marköversvämning runt huvudbrunnen vilket blir en felaktig beskrivning av verkligheten. I scenario 3b rinner vatten som simulerats på markytan ner till ledningsnätet genom rännstensbrunnar och regnet som simulerats i ledningsnätsmodellen rinner direkt till ledningsnätet via *catchment connections*. På detta sätt blir det ingen konkurrens för vattnet att ta sig ner, eftersom att det är olika brunnar som är kopplade för respektive simulering. Detta gör att inget ”regnöverskott” bildas och allt vatten som simuleras i ledningsnätet hamnar i ledningsnätet. De olika simuleringarna visar alltså att det blir stora skillnader i resultat beroende på hur regn simuleras samt vilka brunnar som kopplas.

5.3 Påverkan av flödesbegränsningar på brunnar - Scenario 2

En jämförelse mellan scenarier där standardinställningar (scenario 1) samt flödesbegränsningar använts för brunnar (scenario 2), visar att flödet från markytan till ledningsnätet är mindre för scenario 2. På samma sätt är flödet från MIKE URBAN till MIKE 21 också mindre. I scenario 1 har alla brunnar haft samma kapacitet att släppa ner vatten. I scenario 2 har ungefär hälften av brunnarna kunnat ta emot ett mindre flöde och den andra hälften har lika mycket eller mer än när standardinställningar används, vilket kan ses i figur 11. Detta resulterar i att på vissa ställen kan vatten flöda ner mer och på andra ställen kan vatten flöda ner mindre, jämfört med scenario 1 där vatten har samma flödesbegränsning i samtliga brunnar. I resultatet presenteras två trycklinjer för två olika områden för scenario 1b och 2b, se figur 17 och 18. Detta är två exempelprofiler som förekommer på olika ställen i ledningsnätet. För profilen i figur 17 gäller att trycklinjen är högre för scenario 2b än 1b. Vid kontroll av ledningsnätet visade det sig att huvudbrunnarna som var kopplade i scenario 2b kunde ta emot ett större flöde än huvudbrunnar i scenario 1b vilket möjliggjorde för vatten att rinna ner i ledningsnätet. För profilen i figur 18 var trycklinjen högre för scenario 1b. Efter att ha studerat de kopplade brunnarna i detta område visade det sig att scenario 1b kunde ta emot ett större flöde än 2b.

Resultatet visar att det tycks vara brunnar med en lägre flödesbegränsning som är styrande för resultatet av hur mycket vatten som kan ta sig ner i ledningsnätet. Brunnar som kan ta emot ett större flöde än flödet för standardinställningen på 100 l/s tycks inte spela någon väsentlig roll. Detta beror på att om brunnar som kan ta emot ett stort flöde ligger torra i vissa punkter, det vill säga inget vatten ansamlas på markytan i punkterna, kan inget vatten ta sig ner till ledningsnätet. Om istället brunnar med låg flödesbegränsning ligger i punkter med mycket vatten kan inte heller något vatten ta sig ner i ledningsnätet. Resultatet visar åter att lokalisering av brunnar är en viktig aspekt att förhålla sig till vid simulering med kopplade modeller.

Även om flödesbegränsningarna beräknats genom att ta hänsyn till hårdgjorda ytor tycks brunnar inte kunna leda ner tillräckligt mycket vatten, om det jämförs med scenario 1 där en större del vatten har runnit ner i ledningsnätet. Beräkningarna utfördes genom att anta att en

rännstensbrunn kunde avvattna ett 400 m² hårdgjord yta. Denna siffra är ett antagande och kan ses som ett erfarenhetsvärde och brukar användas vid dimensionering av rännstensbrunnar (Landahl 2019). Eftersom inga riktlinjer för dimensionering av rännstensbrunnar fanns tillgängliga samt att standarderna för dimensionering har varierat över tid valdes att använda 400 m²/hårdgjord yta och rännstensbrunn. Metoden kan ifrågasättas eftersom att flödet mellan modeller begränsats till stor del vilket gör att ledningsnätet inte fyllts upp. Om huvudbrunnar används i kopplade modeller bör det vara bättre att ansätta en hög flödeskapacitet för samtliga brunnar. På så sätt kan tid sparas eftersom att inga beräkningar av flödeskapacitet behövs.

Val av dimension för brunnar gjordes genom att studera ledningen som respektive brunn var kopplad till. Eftersom brunnsdimensionerna antingen var lika stora eller större än där standardinställningar använts var det ingen noterbar skillnad. Desto större flödesarea en brunn har desto större är transportkapaciteten för kopplingen (DHI 2017c). Brunnar med större dimensioner visade inte på någon skillnad i flöde eller instabilitet utan det som tycks ha påverkat de olika flödena verkar snarare bero på flödesbegränsningarna för brunnarna. Troligen påverkas flödet av dimensionsbegränsningen endast om flödesarean blir väldigt liten så att det inte är möjligt för vatten att flöda med en viss hastighet. Detta ger förmodligen stabilitetsproblem men är ingenting som har visat sig i denna undersökning.

5.4 Simulering med olika brunnskopplingar - Scenario 3

För att undersöka hur olika brunnskopplingar påverkar resultatet jämfördes scenario 2b och 3b. Vattenvolymer i respektive modell i slutet av simuleringarna visas i tabell 6. I scenario 2b när huvudbrunnar kopplats var det 4 389 m³ mer vatten på markytan och 1 335 m³ mindre i ledningsnätet. Anledningen till att totala volymen vatten i modellerna inte var samma för de båda scenarierna är på grund av att olika mycket vatten har infiltrerat och flödat ut ur modellerna via utlopp. Differenskartan i figur 20 visar marköversvämningen då scenario 2b och 3b jämförs. Kartan visar att när rännstensbrunnar kopplats (3b) har vatten försvunnit från lågpunkter. Rännstensbrunnarna är ungefär 3 gånger så många som huvudbrunnarna och är strategiskt placerade i lågpunkter, till skillnad från huvudbrunnarna som endast är placerade utifrån ledningsnätet. En hypotes var att rännstensbrunnar skulle medföra att vatten försvann från lågpunkter men samtidigt öka flödet i nedströms ledning vilket skulle ge upphov till dämning. Resultatet visade dock inte på detta. Den enda gången dämning skedde så att vatten tryckte upp på ytan var i området längst nedströms innan vattnet skulle ta sig ut i den stora huvudledningen, detta kan ses i figur 24. Trycklinjerna är högre än markytan i den högra delen av profilen. Detta uppkommer på grund av att huvudledningen är full så att vatten inte kan rinna ut och beror inte på att den studerade ledningen fyllts upp av flödet uppströms. Fler antal kopplade brunnar gav alltså inte någon dämning som konsekvens.

Resultaten av simuleringarna visar att ju fler brunnar som är kopplade, desto större volym vatten kan ta sig ner i ledningsnätetsmodellen vilket kan ses som ett mer verklighetstroligt scenario. Flödesvolymerna mellan modellerna vilka är representerade i figur 26 visar även detta då den totala flödesvolymen från MIKE 21 till MIKE URBAN är större för scenario 3b än

2b. Även om flödesbegränsningen är mindre för respektive brunn i scenario 3b där rännstenbrunnar är kopplade så blir den totala flödesvolymen ändå större. Detta är resultatet av att rännstensbrunnarna är utplacerade i lågpunkter och ungefär tre gånger fler till antalet än vad huvudbrunnarna är. Även flödet från MIKE URBAN till MIKE 21 är större för scenario 3b vilket också uppkommer till följd av fler kopplingar.

Vattenflöden i ledningar

Tre olika områden studerades vilka presenteras som område A, B och C. Maxflödet var högre för samtliga ledningar i områden när rännstensbrunnar var kopplade jämfört med när huvudbrunnar var kopplade men den totala vattenvolymen skiljde sig åt.

Simuleringarna visade att den totala vattenvolymen genom ledningarna i område A var större för scenario 2b där huvudbrunnar var kopplade än för scenario 3b. Samtidigt var maxflödet högre för scenario 3b. Huvudbrunnarna för scenario 2b ligger alla i lågpunkter där mycket vatten har ansamlats medan rännstensbrunnar i scenario 3b ligger mer utspritt där vatten inte ansamlats lika mycket. Detta gör att inte samma vattenvolym kan ledas ner i ledningsnätet, och därför blir den totala vattenvolymen mindre när rännstensbrunnar är kopplade. Flödestoppen blir däremot högre för scenario 3b. Detta beror troligen på att vatten har flödat från flera brunnar vilket gjort att vatten inte stoppats upp på samma sätt och därav har maxflödet blivit större.

För område B gäller att både flöde och vattenvolym är större då rännstenbrunnar är kopplade. Som tidigare nämnts ligger det studerade område i utkanten av ledningsnätet och har endast ett fåtal brunnar uppströms som kan påverka flödet. Även i detta fall blir maxflödet i ledningen större när rännstensbrunnar är kopplade. Men för område B blir även den totala volymen genom ledningen större. Efter en undersökning av området visade det sig att nästan alla rännstensbrunnar låg i vatten medan huvudbrunnar låg torra.

Område C studerades för att undersöka hur kopplingar med rännstensbrunnar påverkade ledningsnätet i helhet genom att studera uppfyllnad av ledningsnät och flöde i ledning på nedströms sträcka. Område C ligger längst nedströms i ledningsnätet och trycklinjen och maxflödet är högst när rännstensbrunnar är kopplade. Detta betyder att konsekvenserna av att koppla fler brunnar uppströms även påverkar flödet i nedströms ledning. I detta fall har ledningen en sådan stor kapacitet att ingen dämning sker i ledningen. Om ledningen skulle ha en mindre kapacitet är det möjligt att när rännstensbrunnar var kopplade skulle vatten dämna upp på markytan. Från dessa exempelområden samt efter att ha studerat fler ställen av ledningsnätet visar det sig att ju fler brunnar som är kopplade, desto högre blir maxflödet i ledningen. Placeringen av brunnarna avgör hur stor volym vatten som leds ner i ledningsnätet och ju fler brunnar som är kopplade desto högre blir maxflödet i ledningarna.

5.5 Framtida studier

I denna studie har fokus legat på hur simuleringar av regn och olika kopplingar har påverkat resultatet. I framtida studier hade det varit intressant att jämföra kopplade modeller med enklare analyser, såsom att använda en 2D-modell och göra ett schablonmässigt avdrag för ledningsnätet för att undersöka om skillnaderna i resultatet blir stora. Det hade även varit värdefullt att simulera modellerna med riktiga koordinater för rännstensbrunnar. I denna studie fanns inte underlag över alla brunnars position utan ett flertal antaganden gjordes. Det hade varit intressant att se om skillnaderna i resultat blev stora eller ej. Båda dessa vidareutvecklingarna är intressanta att ta reda på eftersom både tid och arbetskraft kan sparas.

6 SLUTSATSER

Syftet med examensarbetet var att studera hur resultaten varierade när regn simulerades på olika sätt i de kopplade modellerna och studera skillnader i resultat för kopplingar med huvudbrunnar och rännstensbrunnar. Resultatet visade att ett mer verklighetstroligt scenario erhöles när regnet delats upp mellan de olika modellerna då ledningsnätet fylldes till fullt och resterande vatten hamnade på ytan. Det visade också att rännstensbrunnar är att föredra vid kopplade modeller och att lokaliseringen är en viktig aspekt för att få trovärdiga resultat. Nedan följer summering av slutsatserna som svar på frågeställningarna.

- Utbredningen av den modellerade översvämningen blev större och uppfyllnaden av ledningsnätet mindre när regn simulerats på markytan jämfört med när regn simulerades uppdelat över markyta och ledningsnät.
- Flödet mellan modellerna blev större om brunnar tilläts ta emot ett stort flöde och om fler brunnar var kopplade.
- Utbredningen av den modellerade översvämningen blev något större och uppfyllnaden i ledningsnätet blev mindre när huvudbrunnar var kopplade.

REFERENSER

PUBLICERAT MATERIAL

- Arnell, V (1991). Nederbördsdata vid dimensionering av avloppssystem VAV P65.
- Blomquist, D., Hammarlund, H., Härle, P. & Karlsson, S. (2016). *Riktlinjer för modellering av spillvattenförande system och dagvattensystem*. Tekn. rapport. Tillgänglig: www.svensktvatten.se.
- Chow, V. T., Maidment, D. R. & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. Singapore: McGraw-Hill Company.
- DHI (2016). Örebro detaljerad skyfallsberäkning.
- DHI (2017a). *MIKE 21 Flow Model Hydrodynamic Module User Guide*. Tekn. rapport.
- DHI (2017b). *MIKE 21 MIKE 3 Flow Model FM, Hydrodynamic and Transport Module, Scientific Documentation*. Tekn. rapport. Tillgänglig: www.mikepoweredbydhi.com.
- DHI (2017c). *MIKE FLOOD 1D-2D Modelling User Manual*. Tekn. rapport.
- DHI (2017d). *MIKE URBAN User guide*. Tekn. rapport.
- DHI (2017e). *MOUSE Pipe Flow Reference Manual*. Tekn. rapport.
- Gustafsson, L.-G. & Mårtensson, E. (2014). *Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet : framtagande av metodik för utredning på kommunal nivå*. Malmö: MSB.
- Hernebring, C. & Mårtensson, E. (2013). *Pluviala översvämningar: Konsekvenser vid skyfall över tätorter, en kunskapsöversikt*. Göteborg och Lund: MSB.
- Hernebring, C., Svensson, G., Dahlström, B. & Kjellström, E. (2011). *Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem*.
- Hernebring, C., Milotti, S., Steen Kronborg, S., Wolf, T. & Mårtensson, E. (2015). Skyfallet i sydvästra Skåne 2014-08-31. *Journal of Water and Research* 71:85-99.
- Länsstyrelsen i Jönköpings län (2015). Skyfallskartering i GIS. Tillgänglig: www.lansstyrelsen.se/jonkoping.
- MSB (2012). Förordningen om översvämningsrisker -Sveriges genomförande av EU:s översvämningsdirektiv. Tillgänglig: <https://www.msb.se/sv/publikationer/forordningen-om-oversvamningsrisker--sveriges-genomforande-av-eus-oversvamningsdirektiv/>.
- MSB (2017). *Vägledning för skyfallskartering Tips för genomförande och exempel på användning*.
- Olsson, J., Berg, P., Eronn, A., Simonsson, L., Södling, J., Wern, L. & Yang, W. (2017). *Extremregn i nuvarande och framtida klimat Analyser av observationer och framtidsscenarioer*. Tekn. rapport. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/publikationer/publikationer/extremregn-i-nuvarande-och-framtida-klimat-analyser-av-observationer-och-framtidsscenarioer-1.129407>.
- Salomonsson, M., Larsson, M., Karlsson, S., Alexandersson, H. & Andreasson, M. (2017). *Beredningsplanering för skyfall*. Tekn. rapport. Tillgänglig: www.svensktvatten.se.
- SCB (2015). Urbanisering - från land till stad.
- Svenskt Vatten (2011a). *Hållbar dag- och dränvattenhantering*. Publikation P105. Stockholm.
- Svenskt Vatten (2011b). *Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem*. Publikation P104. Stockholm.
- Svenskt Vatten (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten*. P110.

ICKE-GRANSKAT MATERIAL

- Ahlsell (u.å.). *Pragma markrör*. Tillgänglig: <https://www.ahlsell.se/10/va--mark/markavlopp/strukturvaggsror-och-delar/pragma-strukturvaggsror/2340140/>.
- DHI (u.å.). *MIKE Programvara*. Tillgänglig: <https://worldwide.dhigroup.com/se/mike%20programvara>.
- Landahl, A. (2019). *Skypemöte med Anna Landahl 2019-10-16*. Norconsult AB.
- Ranlund, C. (2019). *Mailkonversation 2019-10-30*. Upplands Bro kommun.
- SCB (2017). *Folkmängd i riket, län och kommuner 31 december 2017 och befolkningsförändringar 2017*. Tillgänglig: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/befolkning/befolkningens-sammansattning/befolkningsstatistik/pong/tabell-och-diagram/>

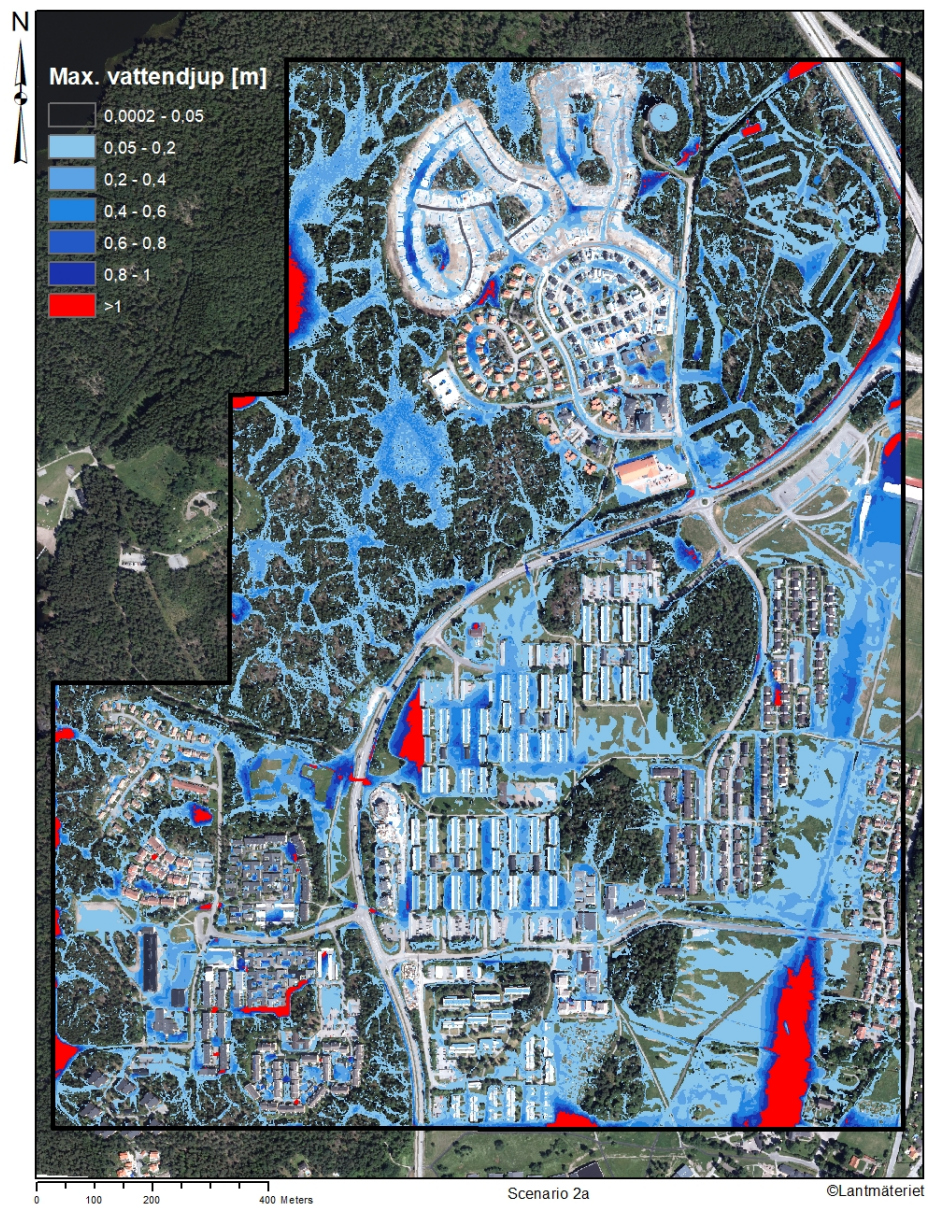
helarsstatistik--kommun-lan-och-riket/folkmangd-i-riket-lan-och-kommuner-31-december-2017-och-befolkningsforandrin.

SCB (2019). *Folkmängden efter region, civilstånd, ålder och kön. År 1968 - 2018*. Tillgänglig: http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__BE__BE0101__BE0101A/BefolkningNy/.

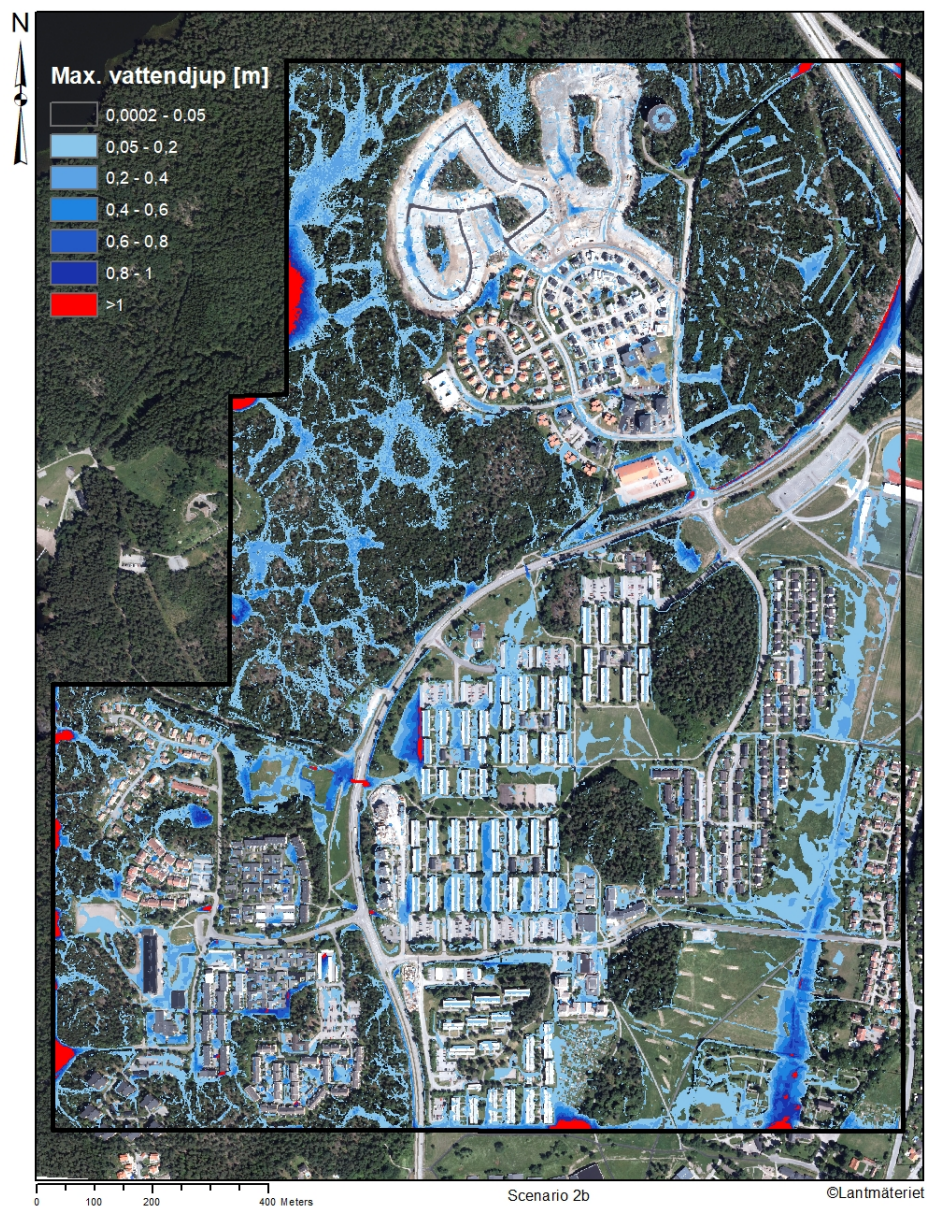
SMHI (2017). *Nederbörd*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/nederbord-1.361>.

USEPA (u.å.). *Storm Water Management Model (SWMM)*. Tillgänglig: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>.

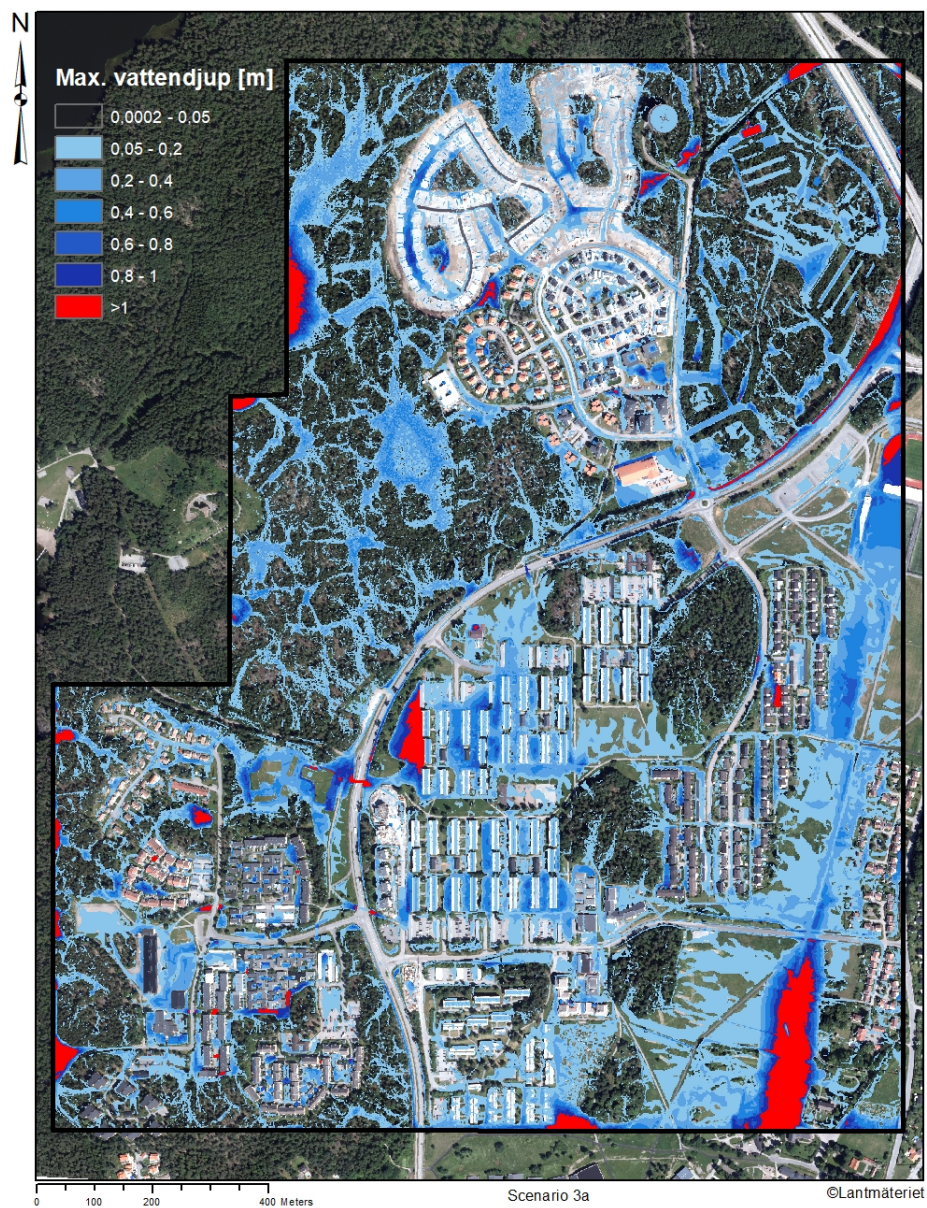
BILAGA A - ÖVERSVÄMNINGSKARTOR



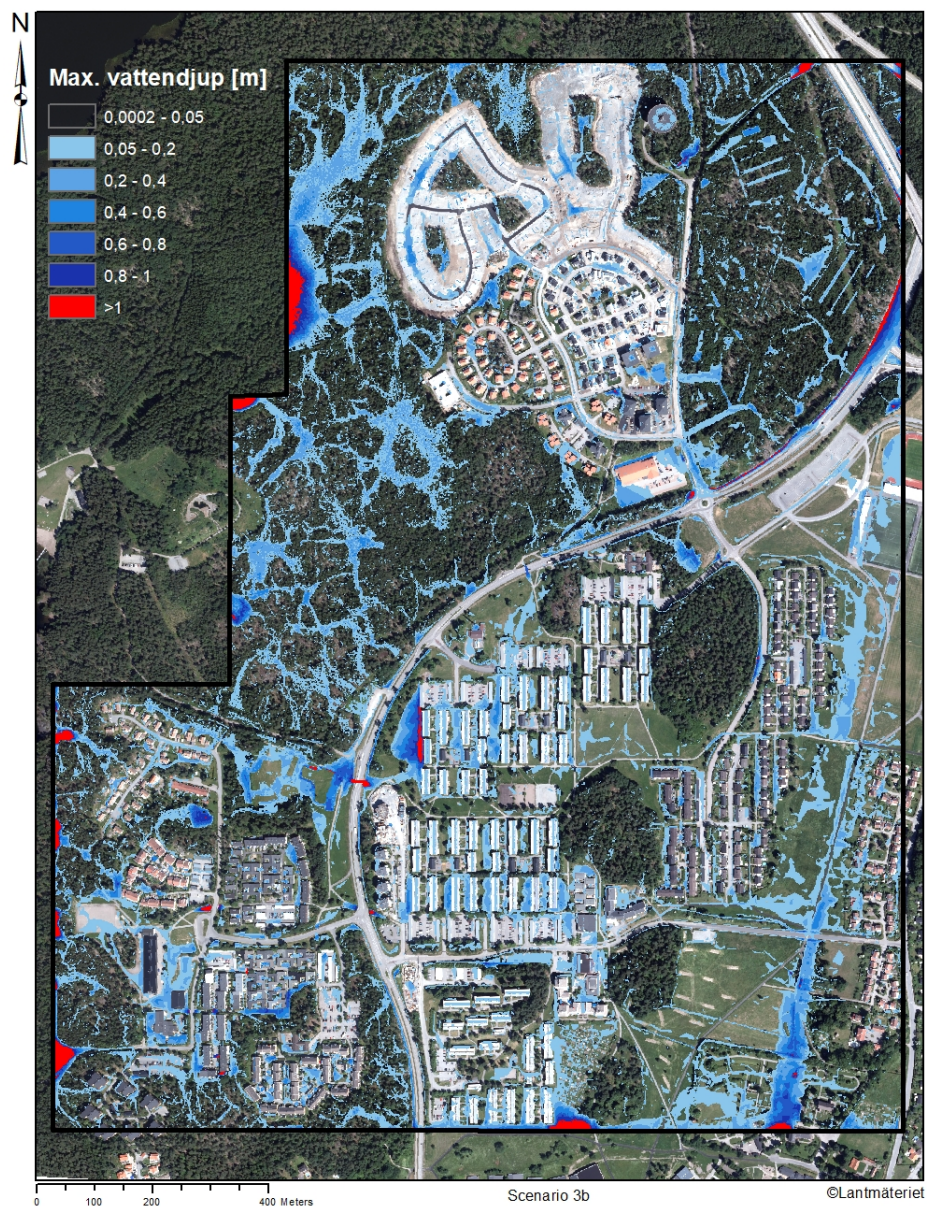
Figur A.1: Översvämningsutbredning och översvämningsdjup för scenario 2a. Ortofotot är hämtad från ©Lantmäteriet.



Figur A.2: Översvämningsutbredning och översvämningsdjup för scenario 2b. Ortofotot är hämtad från ©Lantmäteriet.



Figur A.3: Översvämningsutbredning och översvämningsdjup för scenario 3a. Ortofotot är hämtad från ©Lantmäteriet.



Figur A.4: Översvämningsutbredning och översvämningsdjup för scenario 3b. Ortofotot är hämtad från ©Lantmäteriet.

BILAGA B - LAGERFILER TILL MIKE 21



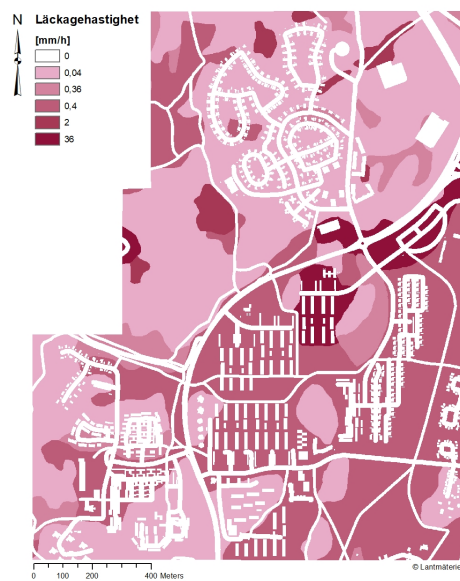
Figur B.1: Infiltrationskapacitet i området. Information hämtad från ©Lantmäteriet.



Figur B.2: Porositet i området. Information hämtad från ©Lantmäteriet.



Figur B.3: Jordlagrets mäktighet i området. Information hämtad från ©Lantmäteriet.



Figur B.4: Läckagehastighet i området. Information hämtad från ©Lantmäteriet.



Figur B.5: Initial vattenvolym för jordlager i området. Information hämtad från ©Lantmäteriet.