



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 13 006

Examensarbete 30 hp
Juni 2013

Översvämningssmodellering av ett dagvattensystem

Sara Jansson

REFERAT

Översvämningsmodellering av ett dagvattensystem

Sara Jansson

Hantering av dagvatten har blivit en allt viktigare fråga i och med städernas expansion och exploatering av befintliga naturområden. Då naturmarker omvandlas till hårdgjorda ytor förändras dagvattenflödet, både med avseende på hastighet och storlek. I ett dagvattennät med bristfälliga dimensioner kan ökade flöden lätt leda till översvämningar. Med de klimatförändringar som förväntas i framtiden är översvämningar även något som kan bli allt vanligare i stadsmiljö. För att undersöka översvämningsrisker i ett område kan en dagvattenmodell användas. En modell är dock alltid en förenkling av verkligheten. Hur bra modellen är på att efterlikna det verkliga systemet bestäms av kvaliteten på de indata denna bygger på och modellens uppbyggnad.

Syftet med examensarbetet var att visa hur en kombinerad dagvatten- och ytflödesmodell kan användas vid översiktlig dagvattenplanering för ett område som utsätts för exploatering och klimatförändringar. Rapporten avsåg även att utreda vilka modellparametrar och vilken indata som tillförde störst osäkerhet till översvämningsmodellen. Genom att bygga upp en dagvattenmodell i programmet Mike Flood kunde översvämningsriskerna i studieområdet Västra Länna undersökas. En känslighetsanalys utfördes på den konstruerade modellen för att identifiera indata och modellparametrar vars variation påverkade modellresultatet mest.

Med metoden som utnyttjas i denna studie kan översvämningarnas utbredning och volymer beräknas och brunnar där vattennivån når marknivå identifieras. Sådan information kan användas för att fastställa var det finns behov av nya dagvattenlösningar och uppskatta dimensioner på dessa. Studien har visat att programmet Mike Flood är lämpligt att använda i urbana områden där infiltrationsmöjligheterna är små och dagvattensystemet domineras av ledningsnät.

Modellsimuleringarna visade att påverkan av faktorer som exploatering och klimatförändringar kan ge stor effekt på ett dagvattensystem som är dimensionerat för att klara 10-årsregn. Störst påverkan på dagvattensystemet i studieområdet skedde vid simulering av framtida klimatförändringar då antalet brunnar som översvämmades steg med 30 procent. Översvämningarnas ungefärliga volym i området ökade 1,8 ggr vid exploatering och 2,3 ggr vid simuleringen av klimatförändringar.

Utifrån den utförda känslighetsanalysen kunde det konstateras att det vid översvämningsmodellering med Mike Flood krävs att vissa parametrar handskas med större noggrannhet än andra. Viktigt i den hydrauliska modellen är att de avrinningskoefficienter som ansätts är grundligt utredda. För ytflödesmodellen bör parametrarna översvämning/torka samt dämpningsfaktorn behandlas noggrant. Viktigt för resultatet av översvämningsutbredningen var även CDS-regnets och dikenans konstruktion i modellen.

Nyckelord: Dagvatten, översvämningar, exploatering, Mike Flood, känslighetsanalys

*Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten-, och landskaplära. Uppsala universitet
Villavägen 16, SE-752 36 UPPSALA _ ISSN 1401-5765*

ABSTRACT

Flood modeling of a storm water system

Sara Jansson

Storm water management has become a more important matter as urban areas are expanding and natural areas are being exploited. As nature landscapes are being converted into hard surface areas storm water flow is affected both in terms of velocity and size. A flow increase can easily result in a flooding if the dimensions of the pipeline system are inadequate. Considering predicted upcoming climate changes, flooding's may become more common in urban areas in the future. A storm water model can be used to investigate the flooding risk in an area. A model, however, is always a simplification of reality. The models ability to describe a real system is determined by the quality of input data and model design.

This thesis aim was to demonstrate how a combined storm water and surface flow model can be used when planning solutions for storm water management in an area subjected to exploitation and climate change. The report also intends to investigate which model parameter and what input data that gives raise to the greatest uncertainty in the model. By building a storm water model in the computer program Mike Flood, the risk of flooding in the area investigated, Västra Länna, could be examined. A sensitivity analysis was performed on the constructed model to identify sensitive input data and model parameters that may affect results due to their fluctuation.

With the method used in this study the scale and volume of a flood can be calculated at the same time as wells in which the water level reaches the ground level can be identified. Such information can be used to determine where there is a need for new storm water solutions and for estimating new dimensions. The study has shown that the use of Mike Flood is suitable in urban areas where the water infiltration is limited and the storm water system is dominated by pipelines.

The results show that exploitation and climate change may have huge impact on a storm water system designed to handle a 10-year rain. In the simulation with future climate changes the number of flooded wells increased by 30 percent, being the scenario with greatest impact on the storm water system in Västra Länna. The volume of flooding water increased 1.8 times in the exploitation scenario and 2.3 times when climate change was simulated.

Based on the sensitivity analysis performed, it could be concluded that when modeling in Mike Flood, certain parameters need to be treated with greater accuracy than others. In the hydraulic model it is important that the imperviousness area used is thoroughly investigated. The parameters in the surface flow model that need to be handled with great accuracy are flooding/drying and damping factor. The construction of ditches and CDS-rain in the model also played an important part when obtaining results concerning the flooding magnitude.

Keywords: Storm water drain, flooding, Mike Flood, sensitivity analysis

*Department of Earth Sciences. Program for Air, Water and Landscape Science.
Uppsala University.*

Villavägen 16, SE-752 36 UPPSALA

ISSN 1401-5765

FÖRORD

Detta examensarbete är det avslutade momentet i civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik på Uppsala universitet. Arbetet har utförts på avdelningen VA på Ramböll, Stockholm, och omfattar 30 hp. Ämnesgranskare har varit Allan Rodhe, professor i hydrologi vid Uppsala universitet.Handledare på Ramböll var Marta Ahlquist-Juhlén.

Ett stort tack till min handledare Marta Ahlquist-Juhlén för stöd och goda råd genom arbetets gång. Jag skulle även vilja passa på att tacka alla på Rambölls VA-avdelning för ett välkomnande bemötande samt för en rolig och lärorik tid.

Ett extra tack vill jag rikta till Henrik Thorsén på Ramböll, Danmark, som alltid tagit sig tid att svara på mina många frågor om översvänningsmodellering.

För stöd, uppmuntran och inspiration genom examensarbetet och min utbildning skulle jag vilja tacka min ämnesgranskare Allan Rodhe.

Uppsala, februari 2013

Sara Jansson

Copyright © Sara Jansson och Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.

UPTEC W 13 006, ISSN 1401-5765

Publicerad digitalt hos Institutionen för geovetenskaper, Geotryckeriet, Uppsala universitet,

Uppsala, 2013.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Översvämningsmodellering av ett dagvattensystem

Sara Jansson

I dagens samhälle blir expanderings av städer allt vanligare. När städer växer och naturmarker bebyggs förändras vattenflöden. Dagvatten, det vill säga regn- och smältvatten, som tidigare kunnat infiltrera marken måste då omhändertas på annat sätt. Ett vanligt tillvägagångssätt att avleda dagvatten i städer är genom ledningar eller diken. Många ledningsnät kan inte hantera ökade vattenflöden vilket resulterar i att markområden blir översvämmade. Översvämningsrisker i stadsmiljö är något som kan bli allt vanligare i och med de klimatförändringar som förväntas i framtiden. I Sverige inträffar extrema regnhändelser varje år vilket ofta leder till mer eller mindre lokala översvämningsrisker. För att undvika problem med översvämningsrisker är det viktigt att dagvattenhanteringen i städer planeras bra.

För att beräkna vattenflöden och undersöka översvämningsrisker i ett område kan en dagvattenmodell användas. En modell kan beskrivas som en förenkling av verkligheten. Hur bra modellen är avgörs utifrån dess förmåga att efterlikna det verkliga systemet. Ett program som vanligen används vid modellering av översvämningsrisker är Mike Flood. Med Mike Flood kan översvämningsförlopp av ledningsnät simuleras. En sådan modell bygger på många typer av inmatade data, som exempelvis nederbörd och ledningsnätets uppbyggnad. Flera parametrar måste även ställas in korrekt för att få modellen att efterlikna det verkliga systemet på ett bra sätt. Vid modellering kan det vara bra att veta vilka parametrar och vilken data som bör behandlas med noggrannhet för att resultatet skall stämma.

Syftet med examensarbetet var att visa hur en dagvattenmodell kan användas vid översiktlig dagvattenplanering för ett område som utsätts för exploatering och klimatförändringar. Det undersöktes även vilka inmatade uppgifter till modellen som tillförde störst osäkerhet till resultatet. Genom att bygga upp en dagvattenmodell i programmet Mike Flood kunde översvämningsriskerna i studieområdet Västra Länna undersökas. Analyser utfördes på den skapade modellen för att få reda på vilka parametrar och vilka data som är extra känsliga vid översvämningsmodellering.

Med metoden som användes i detta arbete kan översvämningsriskernas utbredning och volymer beräknas och brunnar där vattennivån når marknivå identifieras. Sådan information kan användas för att fastställa var det finns behov av nya dagvattenlösningar och uppskatta dimensioner på dessa. Studien har visat att programmet Mike Flood är lämpligt att använda i stadsområden där möjligheterna till vatteninfiltration är låga och dagvattensystemet domineras av ledningsnät.

Resultatet visade att påverkan av exploatering och klimatförändringar kan ge stor effekt på ett dagvattensystem som är dimensionerat för att klara ett regn med en intensitet som vanligen förekommer vart tionde år. I Västra Länna kunde två riskområden identifieras där utveckling av dagvattensystemet är nödvändig för att undvika översvämningsrisker.

Från modelleringen kunde det även bestämmas vilka parametrar i modellen som bör användas med mer noggrannhet än andra. Parametrar som reglerar vattenavrinningen i området är viktiga att de stämmer. Andra parametrar som kan ge effekt på systemet är de som reglerar hur snabbt översvämningarna från brunnarna kan ske och parametrar som bestämmer för vilket minsta vattendjup som beräkningar i modellen skall utföras för. För att resultatet från översvämningssmodelleringen skall vara riktigt är det även betydelsefullt att nederbörden som används i modellen är konstruerat på ett korrekt sätt.

DEFINITIONER

Avrinningskoefficient	Avrinningskoefficienten skildrar hur stor del av nederbörden som avrinner på markytan
Avrinningsområde	Ett område som avvattnas till en viss punkt
Blockregn	Regnets maximala medelintensitet för en given varaktighet
CDS-regn	En sammansättning av blockregn med varierande intensitet och varaktighet
Dagvatten	Ytlig avrinning av regn- och smältvatten från urbana områden
Detaljplan	En plan för utformning av bebyggelse i ett visst område
Mike Flood	En kombination av ytflödesmodellen Mike 21 och den hydrauliska modellen Mike Urban
Mannings tal	Sammanvägning av råhet som kan påverka ett vattenflöde
Noder	Brunnar eller knutpunkter i Mike Urban som binder ihop dagvattensystemet
Rinntid	Den maximala tid det tar för nederbörd som faller över ett avrinningsområde att färdas genom ett system
Trycklinje	Nivån dit en fri vattenyta kan stiga
Återkomsttid	Mått av förekomstfrekvens för en viss händelse

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Referat	i
Abstract.....	iii
Förord	v
Populärvetenskaplig sammanfattning.....	vi
Definitioner.....	viii
1 Inledning.....	1
1.1 Syfte och frågeställningar	2
1.2 Fokus och avgränsningar	2
2 Teori.....	3
2.1 Dagvatten	3
2.1.1 Funktionskrav för dagvattensystem.....	3
2.1.2 Nederbördsdata.....	3
2.1.3 Avrinning	4
2.2 Modelleringsverktyg	6
2.2.1 Endimensionella hydrauliska modeller	6
2.2.2 Tvådimensionella ytflödesmodeller	7
2.2.3 Kombinerade modeller	7
2.2.4 Validering	8
2.3 Mike Flood.....	8
2.3.1 Ytflödemodell – Mike 21	8
2.3.2 Hydraulisk modell – Mike Urban.....	10
2.4 Höjddata.....	11
2.4.1 Nationell höjdmodell	12
2.4.2 Rasterbaserad höjdmodell	12
3 Material och metoder.....	13
3.1 Översiktligt utförande	13
3.2 Områdesbeskrivning	13
3.3 Uppbyggande av modell	14
3.3.1 Höjdmodell	14
3.3.2 Ytflödesmodell	17
3.3.3 Hydraulisk modell	17
3.3.4 Kombinerad modell – Mike Flood	19
3.4 Scenarioanalys	20

3.4.1	Scenario Befintligt.....	20
3.4.2	Scenario Exploatering.....	20
3.4.3	Scenario Klimatförändringar	21
3.5	Känslighetsanalys	21
3.5.1	Hydraulisk modell	21
3.5.2	Ytflödesmodell	23
4	Resultat.....	25
4.1	Scenarioanalys	25
4.1.1	Vattennivåer i noder.....	25
4.1.2	Maximala vattennivåer	27
4.2	Känslighetsanalys	30
4.2.1	Hydraulisk modell	30
4.2.2	Ytflödes- och kombinerad modell.....	31
4.2.3	Indata	31
5	Diskussion	33
5.1	Scenarioanalys	33
5.1.1	Felkällor i modelleringen.....	34
5.2	Känslighetsanalys	35
5.2.1	Hydraulisk modell	35
5.2.2	Ytflödes- och kombinerad modell.....	36
5.2.3	Indata	36
5.3	Sammankoppling med tidigare studier	37
5.4	Fortsatta studier.....	37
6	Slutsats.....	39
7	Referenser.....	40
	Appendix A – Detaljplan	43
	Appendix B – Upphöjda punkter.....	44
	Appendix C – Fältbesök för kontroll av översvämningssområden.....	45
	Appendix D - Avrinningskoefficienter	47

1 INLEDNING

Hantering av dagvatten har blivit en allt viktigare fråga i och med städernas expansion och exploatering av befintliga naturområden. Med dagvatten menas regn- och smältvatten från urbana områden. Då naturmarker omvandlas till hårdgjorda ytor förändras dagvattenflödet, både med avseende på hastighet och storlek. I ett dagvattennät med bristfälliga dimensioner kan ökade flöden lätt leda till översvämningar. Förändrade flöden och översvämningar av dagvattennät i stadsmiljö är även något som kan komma att bli allt vanligare i och med de klimatförändringar som förväntas i framtiden (Svenskt Vatten, 2011b). Ökande temperatur bedöms leda till intensivare regnfall och fler extrema regn (Stensen, 2011). I Sverige inträffar extrema regnhändelser varje år och leder ofta till mer eller mindre lokala översvämningar. För att hantera dessa förändrade flöden och undvika problem med översvämningar är det avgörande med en god planering för hantering av dagvatten (Ahlman, 2011).

Tillvägagångssättet för att utforma dagvattensystem har sett olika ut genom tiderna. Förr var användandet av handberäkningar vanligt för att bestämma dagvattensystemets dimensioner. Numera blir det dock allt vanligare att utnyttja olika modelleringsverktyg för att beräkna flöden och undersöka översvämningrisker i områden som exploateras. Då ledningsnäten i och med urbanisering blir allt större och komplexare kan hydrauliska beräkningar enklare utföras med datormodeller än för hand (Granlund och Nilsson, 2000).

Modelleringsarbetet inom översvämningar har på senare tid utvecklats tack vare framtagandet av ny höjdupplöst data och nya modellverktyg. Numera finns möjlighet att simulera kommunikationen mellan vatten på marken och vatten i ledningsnätet och på så sätt skapa en dynamisk bild över översvämningar som kan uppstå i urbana miljöer (Ahlman, 2011). En modell är dock alltid en förenkling av verkligheten. Hur bra modellen är på att efterlikna det verkliga systemet bestäms bland annat av kvaliteten på de indata denna bygger på (Ljung och Glad, 2004).

I dagens forskning delas ofta osäkerhet i modellering in i två huvudgrupper (1) osäkerhet i indata och (2) osäkerhet i modellparametrar. Att ha kännedom om modellparametrars känslighet är viktigt för att i arbetet kunna avgöra vilken indata som bör behandlas med extra noggrannhet och vilken data som kan uppskattas utan att det nämnvärt påverkar resultatet (Kleidorfer, 2009). Förutom dessa två huvudgrupper är modellens matematiska uppbyggnad naturligtvis avgörande för modellens förmåga att efterlikna verkligheten (Ljung och Glad, 2004).

Resultat från tidigare studier visar på att det i modellering av urbant vatten finns många osäkerheter att ta hänsyn till. Flera studier har visat att parametrar som beskriver avrinningen i urban vattenmodellering är extra känsliga parametrarna (Kleidorfer, 2009; Ahlin, 2012). Enligt Kleidorfer (2009) beror en modells parameterkänslighet till stor del på om modellen kalibrerats eller ej. Med en kalibrerad modell är osäkerheten i modellparametrar mindre inom det intervall som använts vid kalibreringen. För en icke-

kalibrerad modell är parameterosäkerheten större. I översvänningsmodellering där stora ledningsnät undersöks, kan dock validering och kalibrering av modeller vara både kostsamt och tidskrävande.

1.1 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Syftet med examensarbetet är att visa hur en kombinerad dagvatten- och ytflödesmodell kan användas vid översiktlig dagvattenplanering för ett område som utsätts för exploatering och klimatförändringar. Rapporten avser även att utreda vilka modellparametrar och vilken indata som tillför störst osäkerhet vid översvänningsmodellering.

De huvudsakliga frågeställningar som arbetet avser att besvara är:

- Hur kan programmet Mike Flood användas vid analys av översvänningsrisker?
- Vilken blir den hydrauliska påverkan på dagvattennätet i studieområdet vid exploatering respektive klimatförändringar och i vilka områden är risken för översvämningar stor?
- Vilka modellparametrar bidrar till störst osäkerhet och med hur stor noggrannhet skall dessa behandlas vid modelleringen?
- På vilket sätt påverkar noggrannheten i olika indata modellen?
- Hur kan modellen valideras?

Målet med arbetet är utreda vilka parametrar och vilken indata som bör behandlas med extra noggrannhet vid översvänningsmodellering för att erhålla ett tillförlitligt resultat.

1.2 FOKUS OCH AVGRÄNSNINGAR

Arbetet avser endast att undersöka påverkan av exploatering och klimatförändringar på ett befintligt dagvattensystem. I studien utreds ej vilka åtgärder som skulle behöva vidtas för att lösa problematiken kring översvämningar i området. Känslighetsanalysen omfattar endast utvalda modellparametrar och indata då arbetets omfattning ej gav möjlighet att utreda alla.

2 TEORI

2.1 DAGVATTEN

Då nya dagvattensystem skall dimensioneras ställs idag flera funktionskrav på utformningen, bland annat ställs krav på hur ofta översvämningar skall tillåtas ske. Vilken typ av nederbördsdata på regnet som används vid dimensioneringen och vilka avrinningskoefficienter som väljs har betydelse för hur stort det dimensionerande dagvattenflödet blir.

2.1.1 Funktionskrav för dagvattensystem

Vid konstruktion av allmänna avloppsledningar är målet att god miljö och goda hygieniska förhållande skall bibehållas. Funktionskraven gällande nya, men även befintliga, ledningssystem har idag delvis blivit strängare i och med förändrade krav på ledningarnas avledningskapacitet och tillåtna dämningnivåer. I Svenskt Vatten (2004) beskrivs tre funktionskrav som tillämpas inom avloppsnät för dagvatten, ett av dessa funktionskrav gäller översvämningar. Funktionskravet rörande översvämningar säger att alla dagvattenledningar inom bebyggda områden skall klara av att leda bort ett 10-årsregn utan att trycknivån i ledningen når marknivån. Då trycknivån når markytan i en brunn innebär det att en översvämning kommer att ske.

De två andra funktionskraven som tas upp i publikationen P90 innefattar att förorenat dagvatten skall renas innan det når recipienten och att dämning i ledningssystemets utposter skall minimeras (Svenskt vatten, 2004).

2.1.2 Nederbördsdata

Då dagvattennät skall dimensioneras är det av vikt att systemet dimensioneras på ett sådant sätt att det klarar av maximala nederbördsmängder. Vilken typ av nederbördsdata som används vid dimensioneringsarbetet är avgörande för systemets utformning. Traditionellt sett har blockregn använts som indata till flödesberäkningar. Blockregn beskriver regnets maximala medelintensitet för en given varaktighet och återkomsttid och kan utläsas ur intensitet-varaktighetskurvor. Intensitet-varaktighetskurvorna är statistiskt framtagna kurvor från medelnederbördsintensiteten för olika individuella regn (Svenskt Vatten, 2011a).

När det behövs noggranna beräkningar av trycknivåer och maxflöden i ett avloppssystem är det vanligt att datormodeller används. Beroende på situationen används då olika sorters regn som indata. Om syftet med modelleringen är att utföra en funktionskontroll av ett befintligt avloppssystem, det vill säga undersöka om ett system är rätt dimensionerat, kan med fördel en serie blockregn med varierande varaktighet som täcker in ledningsnätets rinntid användas. Rinntiden, det vill säga den maximala tid det tar för nederbörd som faller över ett avrinningsområde att färdas genom systemet, kan beräknas med hjälp av en empiriskt framtagna formel (Svenskt Vatten, 2011a).

I de fall då datormodeller används för dimensionering är det istället för blockregn vanligare att ett så kallat CDS-regn (Chicago Design Storm) används. Ett CDS-regn är uppbyggt av blockregn med varierande intensitet och varaktighet. Regnet är symmetriskt fördelat kring ett intensitetsmaximum som antas inträffa i mitten av regnet. Fördelen med att använda ett CDS-regn i modelleringsarbetet är att regnet statistiskt sett innehåller alla sorters regn och därmed inkluderar de mest intensiva regnen som oftast orsakar översvämningar i systemet (Svenskt Vatten, 2011a).

2.1.3 Avrinning

Dagvattenavrinningens storlek i ett område avgörs av en rad olika faktorer, så som avrinningsområdets area, varaktigheten och intensiteten på nederbörden och markytans beskaffenhet och lutning. Två vanliga metoder som används idag för att beräkna avrinningen i ett område är rationella metoden och tid-areametoden. I dessa två metoder är bland annat avrinningskoefficienten en betydande inparameter (Svenskt Vatten, 2004).

Avrinningskoefficient

Avrinningskoefficienten skildrar hur stor del av nederbörden som avrinner på markytan efter förluster genom bland annat avdunstning och infiltration. Värdet på avrinningskoefficienten kan variera mellan noll och ett där ett högt värde innebär att en stor del av regnet avrinner på markytan. Markens beskaffenhet och lutning tillsammans med nederbördsintensiteten avgör värdet på avrinningskoefficienten (Svenskt vatten, 2004). Tabellerade värden på koefficienten finns för områden med måttliga lutningar och dimensionerande intensiteter (Tabell 1).

Tabell 1. Avrinningskoefficienter för olika typer av ytor (Svenskt Vatten, 2004)

Typ av yta	Avrinningskoefficient
Tak	0,9
Betong- och asfaltsyta, berg i dagen i stark lutning	0,8
Stensatt yta med grusfogar	0,7
Grusväg, starkt lutande bergigt parkområde utan nämnvärd vegetation	0,4
Berg i dagen i inte alltför stark lutning	0,3
Grusplan med grusad gång, obebyggd kvartersmark	0,2
Park med rik vegetation samt kuperad bergig skogsmark	0,1
Odlad mark, gräsyta, ängsmark m.m.	0-0,1
Flack tätbevuxen skogsmark	0-0,1

Då ett avrinningsområde består av flera olika delområden kan det vara lämpligt att använda en sammanvägd avrinningskoefficient (ekvation 1)

$$\varphi_s = \frac{(A_1\varphi_1 + A_2\varphi_2 + \dots + A_l\varphi_l + \dots + A_v\varphi_v)}{(A_1 + A_2 + \dots + A_l + \dots + A_v)} \quad (1)$$

Där A_i = Area för området (m^2)
 φ_i = Avrinningskoefficient för område i (-)
 φ_s = Sammanvägd avrinningskoefficient (-)

Vid tillfällen då det anses lämpligt med överslagsberäkningar kan sammanvägda koefficienter enligt tabell 2 användas (Svenskt Vatten, 2004).

Tabell 2. Sammanvägda avrinningskoefficienter för olika slags bebyggelse (Svenskt Vatten, 2004)

Bebyggelsestyp	Avrinningskoefficient	
	Flackt	Kuperat
Slutet byggnadssätt, ingen vegetation	0,7	0,9
Slutet byggnadssätt med planterade gårdar, industri- och skolområden	0,5	0,7
Öppet byggnadssätt (flerfamiljshus)	0,4	0,6
Radhus, kedjehus	0,4	0,6
Villor, tomter < 1000 m^2	0,25	0,35
Villor, tomter > 1000 m^2	0,15	0,25

Rationella metoden

En beräkningsmetod som används för att uppskatta dagvattenavrinningen i ett område är rationella metoden. Rationella metoden är avsedd att användas för överslagsberäkningar av största möjliga flöden som kan uppkomma från mindre områden. För att metoden skall ge ett rimligt värde på avrinningen krävs att vissa villkor uppfylls. Formen på området som skall undersökas bör vara i det närmaste rektangulär och avrinningskoefficienter med likartade värden bör vara jämnt spridda över området. Ett ytterligare villkor är att rinntiden, det vill säga den maximala tid det tar för nederbörd som faller över ett avrinningsområde att färdas genom systemet, inte får variera avsevärt. Om rationella metoden skall tillämpas är det också av vikt att området är litet, företrädesvis 2-3 ha (Svenskt Vatten, 2004).

Tid-area metoden

I Vägverket (2008) beskrivs tid-areametoden som ett mer avancerat tillvägagångssätt vid flödesberäkning än rationella metoden. Tid-areametoden kan tillämpas vid de tillfällen då avrinningsområdet ej uppfyller de villkor som ställs vid användandet av rationella metoden. Med tid-areametoden kan dagvattenavrinningen beräknas för stora avrinningsområden med skiftande natur, lutningsgrad och avrinningskoefficienter. Till skillnad från rationella metoden tar tid-areametoden hänsyn till att flödet kan tillföras från en del av avrinningsområdet och att det dimensionerande flödet ej nödvändigtvis måste komma från hela området. I metoden beaktas rinntiden från de olika delområdena

och det är rinntiden som avgör om ett delområde bidrar till flödet vid ett regn med en specifik varaktighet.

I tid-areametoden delas avrinningsområdet in i mindre delområden utifrån områdets vattendelare. Indelningen sker med isokroner, linjer som binder samman punkter med samma rinntid till beräkningspunkten. Det dimensionerande flödet beräknas sedan genom rationella metoden för ökande varaktighet på regnet. Med högre varaktighet ökar antalet delområden som bidrar till avrinningen. Samtidigt som den totala arean ökar avtar regnets medelintensitet med ökande varaktighet. Det maximala beräknade flödet är det som används som dimensionerande dagvattenflöde för systemet (Svenskt vatten, 2004).

2.2 MODELLERINGSVERKTYG

Att skapa modeller av system är ett tillvägagångssätt som ofta används för att kunna besvara frågor om system utan att behöva utföra experiment. En modell är en förenkling av verkligheten och används främst som ett verktyg vid problemlösning (Ljung och Glad, 2004).

Inom dagvattenhantering har det blivit allt vanligare att använda datormodeller som verktyg vid funktionsanalyser av ledningsnät och vid planering av åtgärder. Modellerna kan bidra med förståelse för sambandet mellan ledningsnätets dimensioner, belastningen som näten utsätts för och eventuella översvämningar som kan uppstå. Utifrån modeller kan effekterna av framtida åtgärder på näten eller förändringar inom avrinningsområden simuleras och studeras (Naturvårdsverket 1996). Modelleringsarbetet inom översvämningar har på senare tid kommit att förbättras tack vare framtagandet av ny högupplöst höjddata och utvecklandet av olika modellverktyg. Numera finns möjlighet att simulera kommunikationen mellan vatten på marken med vatten i ledningsnätet och på så sätt skapa en dynamisk bild över översvämningar som kan uppstå i urbana miljöer (Ahlman, 2011).

2.2.1 Endimensionella hydrauliska modeller

Hydrauliska modeller är modeller som används för att simulera flöden i ledningsnät. Modellerna kan ge information om var och hur ofta översvämningar sker i ett ledningsnät samt vilka åtgärder som skulle kunna tillämpas för att förhindra översvämningar. Vid modellering av ledningsnät är det vanligt att använda endimensionella hydrauliska modeller. Dessa modeller byggs upp av två olika typer av indata, det ena är fysisk data rörande exempelvis ledningsnätets dimensioner. Den andra typen av indata är information kring avrinningsområdets egenskaper, så som hårdgjorda ytor (Granlund och Nilsson, 2000). I hydrauliska modeller beskrivs översvämningar i brunnar som vattenpelare med en viss höjd över markytan. När trycket i ledningarna sjunker rinner vattnet tillbaka in i ledningarna. Modellerna tar således ej hänsyn till att vattnet i de översvämmande brunnarna bildar ytavrinning och att tryckutjämning på så sätt sker i systemet (Hénonin m.fl., 2010).

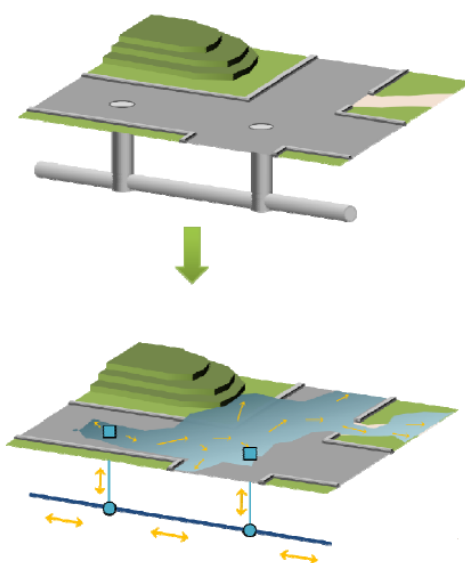
Enligt Frimodt (2009) är de vanligaste datorverktygen som används på marknaden idag Mike Urban, SewerGEMS, SWMM samt PSCWMM.

2.2.2 Tvådimensionella ytflödesmodeller

Med tvådimensionella ytflödesmodeller kan vattenflödets väg på markytan beskrivas utifrån topografisk indata. Modellerna kan beräkna flöden i x- och y-led (Hénonin m.fl., 2010). Enligt Ahlman (2011) är tvådimensionella modeller beroende av noggrannheten i de topografiska indata. För att få ett så realistiskt resultat som möjligt krävs höjddata av god kvalitet. Ju bättre upplösningen är, desto noggrannare resultat kan erhållas. Nackdelen med hög upplösning är dock att beräkningstiderna kan bli långa.

2.2.3 Kombinerade modeller

Genom att sammankoppla en tvådimensionell modell och en hydraulisk modell kan en analys utföras över hur vattnet rinner på marken och hur strömningar och uppfyllnad av vatten ser ut i ledningsnätet (Figur 1). En kombinerad modell ger en dynamisk bild över översvämningsförloppet och vattnets utbredning i topografin. De vanligaste tvådimensionella översvämningsmodellerna, med eller utan koppling till en hydraulisk modell, är Mike Flood, TUFLOW och InfoWorks ICM (Ahlman, 2011). I den denna studie har Mike Flood valts som modellverktyg.



Figur 1. Interaktionen mellan tvådimensionellt och endimensionellt flöde i en kombinerad modell (Hénonin, et al., 2010).

2.2.4 Validering

För att resultatet från en datormodell skall kunna anses trovärdigt är det en förutsättning att ledningsnätet beskrivs så korrekt som möjligt. Genom att jämföra beräknad data från modellen med uppmätt data kan modellen valideras. Valideringsproceduren består i huvudsak av två moment, kalibrering och validering. Vid kalibrering justeras modellens parametrar så att modellens utdata i så hög utsträckning som möjligt efterliknar uppmätt data. När modellen anpassats till uppmätt data testas den mot en ny mätserie, det vill säga data som modellen ej kalibrerats mot. På detta sätt kan modellen utvärderas (Granlund och Nilsson, 2000).

En översvämnings utbredning och förlopp kan vara svårt att validera och kalibrera. Ett tillvägagångssätt för att utvärdera modellresultat är genom fotografier eller observationer som gjorts på plats. Ett annat sätt att undersöka resultatets riktighet är genom att utföra en känslighetsanalys. Genom att studera variationer i modellresultatet för olika belastnings- och avrinnings-situationer i området kan förståelse erhållas för vilka konsekvenser olika felbedömningar av indata får på resultatet (Hedlund och Svensson, 2012).

2.3 MIKE FLOOD

Mike Flood är framtagen av Dansk Hydraulisk Institut (DHI) och är en koppling mellan programmen Mike 21 och Mike Urban.

2.3.1 Ytflödemodell – Mike 21

Mike 21 är en tvådimensionell modell som kan användas för att simulera variationer i flöden och vattendjup. Modellen utvecklades för att användas i marina och kustnära områden men används idag även inom översvämningsanalyser. Flödes- och vattendjupsvariationer beskrivs utifrån en vertikal integrering av ekvationerna *bevarandet av massa* (ekvation 2) och *rörelsemängd* (ekvation 3 och 4). Ekvationerna har modifierats genom att sätta termer som ej använts i modelleringen till noll.

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (2)$$

x-led:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \right. \\ \left. + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

y-led:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \right. \\ \left. + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Där

$h(x, y, t) =$ Vattendjup (m)

$d(x, y, t) =$ Tidsberoende vattendjup (m)

$\xi(x, y, t) =$ Marknivå (m)

$p, q(x, y, t) =$ Flödestäthet i x- och y-riktning ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)

$C(x, y) =$ Chezy resistans ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$)

$g =$ Tyngdaccelerationen (m/s^2)

$\rho_w =$ Vattnets densitet (kg/m^3)

$x, y =$ Rumsliga koordinater

$t =$ Tid (s)

(DHI, 2007)

De integrerade ekvationerna löses i Mike 21 i ett definierat rutnät som täcker området av intresse.

Flera modellparametrar måste definieras för att bygga upp ytflödemodellen. Dessa är;

- Markvärde

Parametern ansätts av två anledningar. Dels för att definiera det höjdvärde på marken där översvämningar ej tillåts inträffa, dels för att ”stänga” höjdmodellens gränser. Genom att tilldela de yttersta cellerna i höjdmodellen värdet på markvärde-parametern så upphöjs kanterna i modellen och inga flöden tillåts på så sätt att ske över gränserna. Vanligen sätts markvärdet till det högsta höjdvärdet i höjdmodellen.

- Översvämningar och torka

Parametrarna ansätts för att bestämma för vilket minsta vattendjup som flödesberäkningar skall göras. För att översvämning skall ske i en rutnätspunkt måste vattennivån i angränsande rutnätspunkter vara över den undersökta rutnätspunktens marknivå plus ett tröskvärde. Detta tröskvärde är parametern *översvämningar*. Parametern *torka* definierar vattennivån för när en rutnätspunkt skall definieras som torr (Berg m.fl., 2001).

- Markresistans

Markresistans specificerar ett konstant värde på Mannings tal över hela ytflödemodellen. Mannings tal är en sammanvägning av råhet som kan ha inverkan på flödet i rör, kanaler eller öppna diken (DHI, 2012b).

2.3.2 Hydraulisk modell – Mike Urban

Mike Urban används för att modellera dagvattennät eller avloppsledningar och bygger på GIS-programmet ArcGIS. I Mike Urban finns bland annat modelleringsmotorn MOUSE (Model of Urban Sewers) att tillgå. MOUSE kan modellera flöden under tryck i öppna och slutna ledningar med varierande profiler. Programmet kan även ta hänsyn till konstruktioner som till exempel dammar och pumpar (DHI, 2012b). Flödet i ledningarna beräknas utifrån en icke-linjär, hyperbolisk partial differentialekvation, Saint Venants ekvation för ytvattenflöde. Ekvationen bygger på bevarande av massa (ekvation 5) och rörelsemängd (ekvation 6).

$$\frac{\delta Q}{\delta x} + \frac{\delta A}{\delta t} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta(\alpha \frac{\delta Q^2}{A})}{\delta x} + gA \frac{\delta y}{\delta x} + gAI_f = gAI_0 \quad (6)$$

Där

Q = Flöde (m³/s)

A = Flödesarea (m²)

x = Avstånd i flödesriktning (m)

t = Tid (s)

α = Hastighetsfördelningskoefficient

g = Tyngdaccelerationen (m/s²)

y = Flödesdjup (m)

I_f = Bottenfriktion

I_0 = Bottenlutning

(DHI, 2012a)

Delavrinningsområden

I Mike Urban delas avrinningsområden in i mindre delavrinningsområden. Delavrinningsområden kopplas till de brunnar dit vattnet från området rinner. Uppdelningen av avrinningsområdet till mindre delar kan utföras på flera olika sätt. Ett vanligt tillvägagångssätt för uppdelningen är att använda Mike Urbans inbyggda funktion Catchment Delineation Wizard. Funktionen delar in området i Thiessenpolygoner där polygonerna definierar en yta där varje punkt ligger närmare noden i polygonen än någon annan nod. Delavrinningsområdena kan även delas in efter topografin vilket förutsätter att en höjdkarta över området finns tillgängligt. Det tredje sättet att dela in området i är genom att manuellt rita ut delavrinningsområden utifrån fältstudier (DHI, 2012b).

Noder och ledningar

När ledningsnätet ritas i Mike Urban illustreras brunnarna i systemet som noder. Noderna kan även representera punkter där ledningar ändrar typ eller dimension. I programmet finns möjlighet att ange eventuella tryckförluster som kan uppstå i noderna då diametern mellan brunn och ledning skiljer sig (DHI, 2012b). Det finns även möjlighet att definiera friktionsförluster i ledningarna med hjälp av Mannings tal.

Det finns olika sätt som Mouse kan hantera översvämmat vatten från noderna. Standard är ej tät marknivå vilket innebär att vattnet rinner ut på markytan när vattennivån i noden når markhöjd. I MOUSE skapas då en konstgjord bassäng där vattnet lagras. Detta vatten återförs sedan till noden då trycket i noden sjunker. En annan möjlighet att hantera översvämmat vatten är tät betäckning på noden. Då vattnet inte ges möjlighet att komma upp till markytan byggs ett tryck upp i ledningarna. En ytterligare valmöjlighet vid simulering är att ha en öppen avtappande nod. I en sådan nod kan vattnet som rinner ur noden ej återvända till systemet (DHI, 2012b).

Hydrologiska modeller

För att simulera vattenflödet som når ledningssystemet kan två typer av hydrologiska modeller användas i Mike Urban, ytavrinningsmodeller och kontinuerliga hydrologiska modeller. Ytavrinningsmodellerna beräknar ytavrinningen genererad utifrån nederbörd och tar ej hänsyn till flöden under markytan. Modellerna lämpar sig bäst att använda i urbana miljöer där största delen av ytorna är hårdgjorda. Det finns fyra olika ytavrinningsmodeller att tillgå i Mike Urban: tid-area, icke linjär reservoar, linjär reservoar och enhetshydrograf (DHI, 2012b).

Då ett område utan tät bebyggelse skall modelleras kan det vara mer lämpligt att använda kontinuerliga avrinningsmodeller. Kontinuerliga modeller har ett så kallat hydrologiskt minne vilket betyder att modellen kan lagra hydrologiska situationer från flera nederbördstillfällen. I Mike Urban kan kontinuerlig avrinning modelleras på två olika sätt. Det ena är genom funktionen RDI (rainfall dependent infiltration) där både yt- och grundvattenavrinningen inkluderas. RDI är speciellt anpassad till långtidsanalyser. Kontinuerlig avrinning kan även modelleras genom att lägga till ett konstant flöde i systemet (DHI, 2012b).

2.4 HÖJDDATA

Då översvämningskartering skall utföras är det avgörande för resultatet vilken sorts höjddata som finns tillgängligt. Upplösningen på höjddata avgör noggrannheten i resultatet för översvämningsmodelleringen. Lantmäteriet arbetar idag med att ta fram en ny nationell höjdmodell. Höjdmodellen kan tillhandahållas antingen i form av punktmoln eller i form av ett färdigt raster.

2.4.1 Nationell höjdmodell

På uppdrag av regeringen arbetar Lantmäteriet med att ta fram en ny nationell höjdmodell som skall kunna tillämpas inom bland annat klimatanpassning. Arbetet påbörjades år 2009 och förväntas vara avklarat år 2015 (Skytt, 2012). Den nya nationella höjdmodellen är baserad på flygburen laserscanning vilket ger en förbättrad kvalitet och upplösning på höjddata. Noggrannheten på modellen är bättre än 0,1 m i höjd på plana hårdgjorda ytor men minskar dock vid områden med starkt sluttande terräng. Noggrannheten i planet är cirka 0,3 m i höjd. Vid laserscanning av terrängen erhålls ett moln av punkter med känt läge i plan och höjd. Det laserscannade datat måste behandlas genom att varje punkt måste klassas som antingen mark eller vatten (Hedlund och Svensson, 2012). Den nya nationella höjdmodellen kan tillhandahållas av Lantmäteriet i två olika former, antingen som hela punktmolnet i sin helhet eller i form av ett 2 m x 2 m färdigt raster (Skytt, 2012).

2.4.2 Rasterbaserad höjdmodell

För att kunna lagra bilder, som till exempel flyg- och satellitbilder, är det vanligt att använda en rasterstruktur. Harrie (2008) förklarar rasterstruktur med att data delas in i ett rutnät, ett så kallat raster. Varje cell i rasterstrukturen tilldelas ett numeriskt värde som motsvarar den yta som cellen skall representera. I en rasterbaserad höjdmodell representerar cellvärdena höjdvärdet i motsvarande ytas mittpunkt. Hur noggrant en höjdmodell beskriver terrängen avgörs därför av cellstorleken. Med mindre cellstolek blir upplösningen på höjdmodellen bättre. En hög upplösning innebär dock en ökad datamängd och längre processtid.

3 MATERIAL OCH METODER

3.1 ÖVERSIKTLIGT UTFÖRANDE

En översvämningmodell över ett planområde med tilltänkt exploatering i Västra Länna byggdes upp från grunden. I översvämninganalysen användes Mike Flood. Modellerna skapades i två separata steg. Ytflödesmodellen skapades med hjälp av programmet Mike 21 och byggde på en höjdmodell som bearbetades i ArcGIS. Den hydrauliska modellen över ledningsnätet byggdes upp i Mike Urban.

Tre scenarier, Scenario Befintligt, Scenario Exploatering och Scenario Klimatförändringar, undersöktes på den i Mike Flood skapade modellen över det befintliga dagvattennätet.

Osäkerheten i modellparametrar utvärderades genom en känslighetsanalys. Känslighetsanalysen utfördes dels på modellparametrar i den hydrauliska modellen, dels på parametrar i ytflödes- och kombinerad modell. De parametrar som utreddes var för den hydrauliska modellen avrinningskoefficienter, Manning tal och extern vattennivå. För ytflödesmodellen och den kombinerade modellen utvärderades parametrarna dämpningsfaktor, markvärde och torra/översvämning. Känsligheten i modellens regndata undersöktes genom att konstruera ett CDS-regn med högre regnintensitet och simulera detta i de tidigare nämnda scenarierna.

3.2 OMRÅDESBESKRIVNING

Området Västra Länna är beläget i Huddinge kommun i Stockholm (Figur 2). Västra Länna är idag ett glest bebyggt område bestående mestadels av små- och fritidshus. Av de 56 fastigheter som finns i området är cirka hälften permanentbebodda. En fjärdedel av fastigheterna är obebodda tomter och resterande fjärdedelen består av fritidshus (Lundqvist, 2008).



Figur 2. Översvämningsmodelleringen i rapporten har utförts i Västra Länna i Huddinge kommun, Stockholm. Området är utmarkerat på kartan med en lila ruta.

Huddinge kommun har tagit fram en detaljplan (Appendix A) över Västra Länna vilken möjliggör för förtätning och exploatering. Planförslaget skapar möjlighet till ny villabebyggelse dels genom exploatering av naturmark, dels genom delning av befintliga fastigheter. Uppskattningsvis kommer cirka 160 nya fastigheter kunna skapas. I och med utbyggnationen finns önskemål att undersöka det befintliga dagvattensystemets kapacitet och att ta fram eventuella åtgärdsförslag till ett nytt dagvattensystem (Persson och Linder, 2011).

3.3 UPPBYGGANDE AV MODELL

Modellen för översvämningsanalysen byggdes upp i separata steg. En höjdmodell togs fram och bearbetades för att kunna användas som grund till ytflödesmodellen. En hydraulisk modell över det befintliga ledningsnätet konstruerades.

3.3.1 Höjdmodell

Uppbyggnad av raster

För att kunna utföra en noggrann översvämningsanalys laddades högupplöst höjddata ned från Lantmäteriet. Vid nedladdning kunde två olika former av höjddata väljas

- en färdig höjdmodell i rasterform
- ett punktmoln med obearbetade LAS-filer

Till denna studie valdes den färdiga höjdmodellen i rasterform. Den färdiga höjdmodellen i rasterform hade en upplösning 2 m x 2 m. Noggrannheten på höjdmodellen i modellen var minst 0,3 m. Höjdmodellen levererades i koordinatsystemet SWEREF 99 TM (Lantmäteriet, 2012).

GIS-lager

För att kunna utföra översvämningsanalysen sammanställdes i ArcGIS olika GIS-lager för byggnader, vägar och det befintliga kommunala dagvattenledningsnätet. Genom att studera flygfoton över området identifierades byggnader och vägar på höjdmodellen. Varje hus respektive väg ritades manuellt in som ett lager i GIS. Det befintliga dagvattennätet med tillägg för de diken som fanns i området ritades in som ett lager i GIS efter en CAD-fil över dagvattennätet tillhandahållen av kommunen.

Utifrån de skapade GIS-lagren av byggnader modifierades höjdmodellen för att kunna tillämpas i översvämningsanalysen. I ArcGIS upphöjdes punkter på höjdmodellen där hus var placerade med 10 m (Appendix B). Upphöjning utfördes för att undvika vattenansamlingar vid husgrunder i översvämningsanalysen.

Avrinningsområden

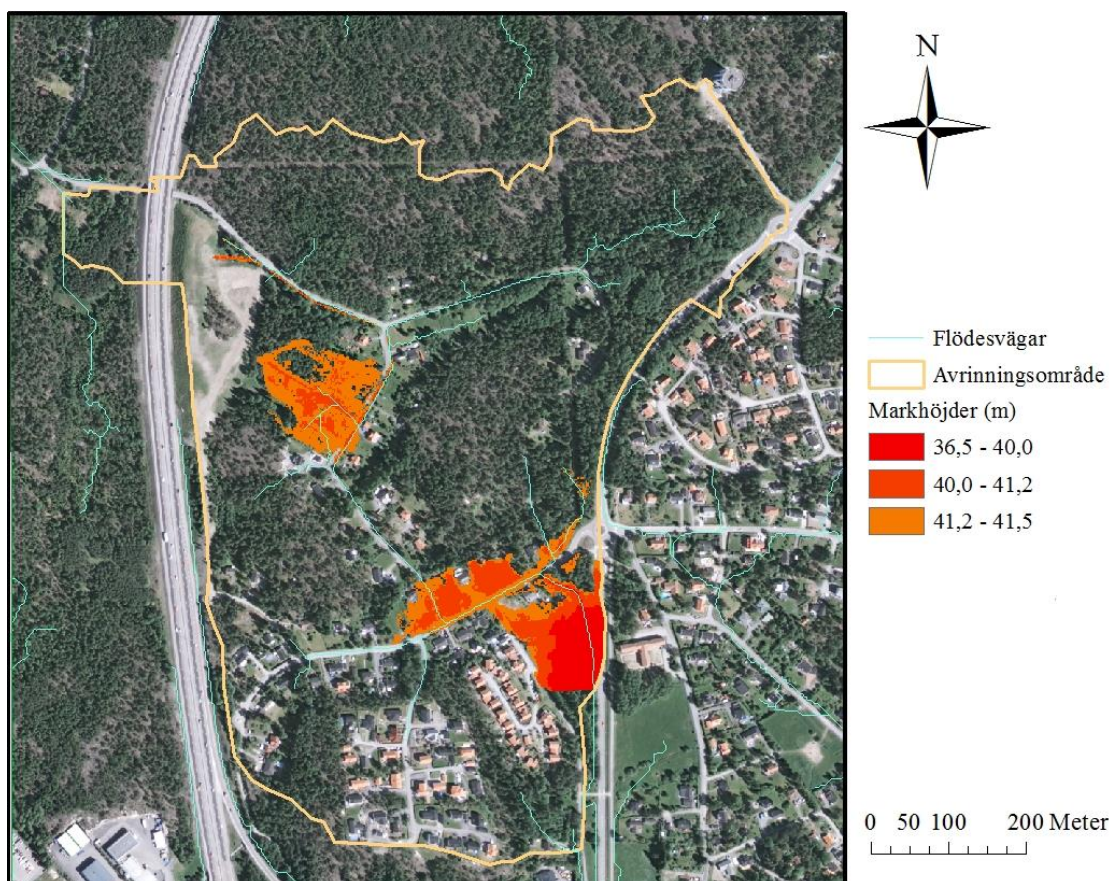
För att undersöka hur stort område som avvattnades till det befintliga dagvattennätet i planområdet utnyttjades tilläggsprogrammet ArcHydro i ArcGIS. I ArcHydro finns verktyget Terrain Processing som är lämpligt att använda för analys av avrinningsområden och flödessystem. Utifrån den digitala höjdkartan och GIS-lagret med det befintliga ledningsnätet skapades delavrinningsområden med verktyget Terrain Processing.

För att förstå hur ytavrinningen såg ut i området fastställdes flödesvägarna. Flödesvägarna togs fram även de med verktyget Terrain Processing. Verktyget beräknade flödesvägarna i höjdmodellen med utgångspunkt att vattnet rör sig från ett högre höjdvärde till ett lägre.

Avrinningsområdet för planområdet togs fram genom att studera vilka delavrinningsområden som bidrog till flödet i utloppet av planområdet. Då en dagvattenledning korsade avrinningsområdets topografiska vattendelare inkluderades avrinningen från delområdet utanför. Delområden för ledningar som avledde dagvatten från avrinningsområdet togs bort.

Lågpunkter

En dagvattenmodell valideras lämpligen genom att jämföra uppmätta flöden i ledningsnätet mot modellerade flöden. För att i någon mån kunna validera översvämningssmodellen, trots brist på uppmätta flöden, lokaliserades lågpunktsområden i höjdmodellen med ArcGIS. Genom att identifiera lågpunktsområden erhöles en överblick av vilka områden inom planområdet som kunde anses känsliga för översvämningar. Områden med de lägsta höjdvärdena i terrängmodellen definierades som lågpunktsområden och filtrerades ut i ArcGIS (Figur 3).



Figur 3. Möjliga översvämningssytor i studieområdets lågpunkter. ©Lantmäteriet Medgivande i2012/921.

Ett fältbesök i området utfördes den 6:e november 2012 efter en månad med mycket regn. Nederbörden som fallit över området under oktober månad uppmättes enligt SMHI (2012) till 71,6 mm. Syftet med fältbesöket var att undersöka huruvida de identifierade lågpunktsområdena var utsatta för översvämningar eller ej och att se om de modellerade översvämningarna överensstämde med verkligheten (Appendix C).

3.3.2 Ytflödesmodell

I Mike Urban finns den inbyggda funktionen *2D overland flow*. Funktionen är en integrering av Mike 21:s ytflödesmodell i Mike Urban. Integreringen möjliggör uppbyggnad av ytflödesmodell direkt i Mike Urban utan att behöva arbeta i ett annat program (DHI, 2012b). Ytflödesmodellens huvudsakliga indata var den bearbetade höjdmodellen men vissa modellparametrar behövde även definieras. Parametrarna tilldelades standardvärden som vanligtvis används vid översvänningsmodellering av dagvattennät (Tabell 3) (Thorsén, personlig kontakt 2012).

Tabell 3. Ansatta modellparametrar i ytflödesmodellen

Parametrar	Ansatta värden	Enhet
Markvärde	10	m
Översvämning	0,05	m
Torka	0,04	m
Markresistans	32,0	m ^{1/2} /s

3.3.3 Hydraulisk modell

Delavrinningsområden och avrinningskoefficienter

I Mike Urban utnyttjades verktygen *catchment delination* för att genom thiessenpolygoner ta fram delavrinningsområdena. Att utnyttja thiessenpolygoner vid framtagandet av delavrinningsområden i Mike Urban är en vanlig metod vid analys av dagvattenflöden (Thorsén, personlig kontakt 2012). Till varje delavrinningsområde kopplades en nod dit avrinning från delområdet antogs rinna.

Utifrån ekvation 1 tilldelades varje delavrinningsområde en sammanvägd avrinningskoefficient. De avrinningskoefficienter som användes avlästes i tabell 1.

Ledningar och noder

Ledningarna i modellen ritades upp utifrån tillhandahållna CAD-filer över ledningsnätet (Figur 4). Filerna innehöll information om

- material och dimensioner på ledningarna
- ledningsdjup
- brunnskoordinater och brunnstyp

Vissa modifikationer och förenklingar utfördes då ledningsnätet ritades in i Mike Urban. En förenkling var att mindre ledningar som ansågs vara servisledningars togs bort. En viktig modifiering var tillägg av diken och dikesnoder till systemet. Två storlekar på diken ansattes. Dike nr 1 gavs ett djup på 1 m, 0 m bred i botten och 2 m bred vid ytan. Dike nr 2 hade dimensionerna 0,5 m djup, 0 m bred i botten och 1,5 m bred vid ytan. Vid fältbesök studerades storleken på diken och utifrån bilder tagna över området tilldelades diken i modellen antingen dimensioner för dike nr 1 eller nr 2.

Friktionsförlusten i ledningar och diken beskrevs i modellen med Mannings tal utifrån materialet (Tabell 4).

Tabell 4. Ledningsmaterial som används i modellen och deras respektive Mannings tal

Material	Manning tal ($m^{1/3}/s$)
Betong	75
Plast	80
Öppet dike	20

Liksom för ledningarna saknades vissa data över brunnarna. Underlaget innehöll exempelvis ej några markhöjder för brunnarna. Markhöjderna utlästes från höjdmodellen då denna ansågs ha tillfredsställande upplösning för ändamålet. Det saknades även dimensioner för brunnarnas innerdiameter i underlaget. Diametern på samtliga brunnar sattes därför till 1 m.

Vid modellering i Mike Urban behandlades brunnarna i dagvattennätet som öppna brunnar. Att anta öppna brunnar är normalfallet vid översvämningsmodellering i Mike Flood. Det är endast då det finns specifik information om att en brunn skulle vara låst som en brunn förseglas i modellen (Thorsén, personlig kontakt 2012). Brunnarna i modellen behandlades som öppna då information kring låsta brunnar saknades.

Vid översvämningsmodellering bör utloppet med fördel sättas till det verkliga utloppet i recipienten för att få med eventuella dämningseffekter. Av tidsmässiga skäl behandlades endast avrinningsområdet till planområdet i denna studie och utloppet i modellen placerades därför i ett dike i planområdets nedre kant i brytningen mellan två delavrinningsområden. Då utloppet till recipienten var lokaliserat så pass långt bort ansågs ledningsnätet i planområdet dock ej påverkas av eventuella dämningseffekter nedströms.



Figur 4. Det modellerade dagvattennätets omfattning i Västra Länna. ©Lantmäteriet Medgivande i2012/921.

Hydrologisk modell

Vid översvämningsanalyser av dagvattennät med Mike Urban Flood är det vanligast att tid-area-metoden utnyttjas. Att en ytavrinningsmodell utnyttjas är rimligt då ledningsnätet sällan har kontakt med grundvattenavrinningen utan det är ytavrinningen som ger tillskottet av flöde i ledningsnätet (Thorsén, personlig kontakt 2012). I denna studie användes tid-area-metoden för att ta fram avrinningen. Då Västra Länna är ett område utan tät bebyggelse och där dagvattensystemet består av flera diken kunde det dock varit lämpligt att använda en kontinuerlig avrinningsmodell i Mike Urban. En kontinuerlig modell krävde dock tillgång på flera parametrar rörande markegenskaper i området (DHI, 2012b) vilket ej var åtkomligt i denna studie.

3.3.4 Kombinerad modell – Mike Flood

Kopplingarna mellan den hydrauliska modellen i Mike Urban och ytflödesmodellen i Mike 21 sker genom noderna. I kopplingarna måste modellparametrarna maxflöde och inloppsarea bestämmas. Parametrarna tilldelades standardvärden som vanligtvis används vid översvämningsmodellering av dagvattennät (Tabell 5) (Thorsén, personlig kontakt 2012).

Tabell 5. Modellparametrar till kombinerad modell

Parameter	Ansatt värde	Enhet
Maxflöde	1,0	m ³ /s
Inloppsarea	0,16	m ²
Dämpningsfaktor	0,1	m

3.4 SCENARIOANALYS

För att undersöka hur den uppbyggda modellen reagerade på förändringar inom området undersöktes tre olika scenarier, Scenario Befintligt, Scenario Exploatering och Scenario Klimatförändringar.

3.4.1 Scenario Befintligt

Översvämningensrisken i det existerande ledningssystemet undersöktes i Scenario Befintligt (ScB). Genom att undersöka det befintliga systemets risk för översvämningar kunde översvämningensrisken vid framtida exploatering och klimatförändringar jämföras mot ett nolläge. Vid översvämningensanalysen i ScB användes ett CDS-regn framtaget utifrån Dahlströms formel med återkomsttid på 10 år (Figur 5). Den totala varaktigheten på CDS-regnet var 600 minuter.

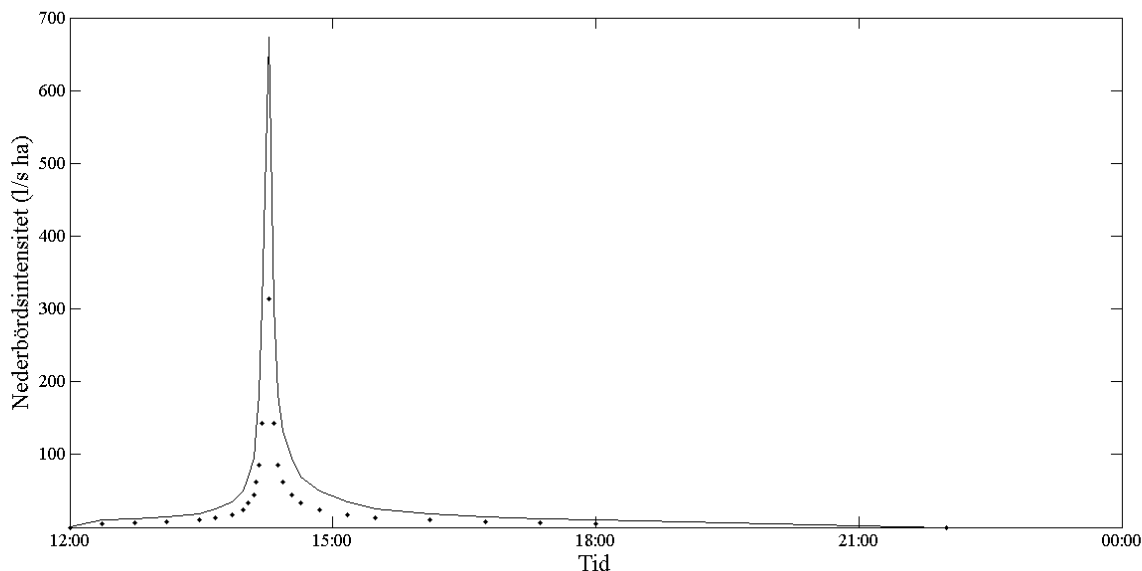
3.4.2 Scenario Exploatering

I Scenario Exploatering (ScEx) undersöktes hur översvämningensrisken skulle se ut i planområdet då området exploaterades utifrån fastställd detaljplan. Exploateringen är främst fokuserad till planområdets norra del (se detaljplan, Appendix A), där diken idag dominerar dagvattenavledningen. Avrinningskoefficienter i delområden där bebyggelse skall ske eller utökas ansattes enligt tabell 2, sammanvägda avrinningskoefficienter. Att avrinningskoefficienterna ansattes efter sammanvägda koefficienter ansågs rimligt då detaljplanen ej gav information om exakt andel hårdgjorda ytor som kunde tänkas uppkomma inom tomterna. Vilka förändringar som gjordes på avrinningskoefficienterna i respektive delområde kan utläsas i Appendix D.

Samma CDS-regn som nyttjades i översvämningensanalysen i ScB användes för att analysera det exploaterade området.

3.4.3 Scenario Klimatförändringar

I Scenario Klimatförändringar (ScK) undersöktes hur risken för översvämningar i området såg ut då ledningsnätet belastades med större och intensivare nederbörd. Ett CDS-regn med återkomsttid på 100 år användes för att studera det befintliga ledningsnätets belastning vid ett extremt regnscenario (Figur 5).



Figur 5. CDS-regn med olika återkomsttider. Den heldragna linjen representerar ett 100-årsregn och den prickade ett 10-årsregn.

3.5 KÄNSLIGHETSANALYS

För att avgöra vilka faktorer som bidrar till störst osäkerhet i översvämningssmodellering med Mike Flood utfördes en känslighetsanalys. Analysen genomfördes dels på utvalda modellparametrar, dels på indata till modelleringen. De modellparametrar som ansågs kunna bidra till högst osäkerhet valdes ut och undersöktes var och en för sig. I känslighetsanalysen varierades den undersökta parametern medan andra modellparametrar hölls konstanta.

3.5.1 Hydraulisk modell

Modellparametrarnas känslighet i den hydrauliska modellen, Mike Urban, utvärderades genom att studera förändringen av trycknivå i två utvalda noder. Den ena noden var en brunnsnod lokaliserad i områdets södra del. Den andra noden var en dikesnod i områdets norr del.

De parametrar som valdes att studeras i den hydrauliska modellen var avrinningskoefficienter, Mannings tal samt extern vattennivå. Parametrarnas värde varierades vardera med $\pm 50\%$ för att utslaget från varje fall skulle vara jämförbart med nolläget och mellan de olika parametrarna.

Avrinningskoefficienter

Avrinningskoefficienternas känslighet analyserades genom att förändra parametern reduction factor i Mike Urban. Denna parameter används i Mike Urban för att reglera vattenförluster, som exempelvis avdunstning och infiltration, från ett ledningssystem (DHI, 2012c). I känslighetsanalysen betecknades fallet där avrinningskoefficienterna förändrades med ett A följt av procentsatsen som avrinningskoefficienterna förändrades till (Tabell 6). A-100 representerade ScB och var värdet som förändringen jämfördes emot. Värdet på de ansatta avrinningskoefficienterna i modellen översteg ej 0,67 vilket möjliggjorde multiplicering med 1,5.

Manning tal

I syfte att undersöka hur friktionsförluster i ledningsnätet påverkar resultatet i modelleringen undersöktes känsligheten i parametern Mannings tal. Mannings tal för respektive material som använts i ledningsnätsmodellen varierades. Materialen var som tidigare nämnts plast, cement och öppet dike. I känslighetsanalysen betecknas fallet där Mannings tal förändrades med ett M följt av procentsatsen som den ändrades till (Tabell 6). M-100 representerade ScB och var värdet som förändringen jämfördes emot.

Extern vattennivå

I ledningsnätsmodellen är det nödvändigt att definiera vissa gränsvärden. Ett gränsvärde som måste ansättas i modellen är extern vattennivå. Extern vattennivå beskriver vilken vattennivån är i utloppet, vilket ofta är vattennivån i recipienten som ledningsnätet leds till (DHI, 2012b). I känslighetsanalysen undersöktes hur resultatet påverkades om vattennivån i utloppet sattes till halvfullt dike respektive fullt dike. EX-0 representerar ScB, där diket var tomt (Tabell 6)

Tabell 6. Ansatta parametervärden i känslighetsanalysen över den hydrauliska modellen

Fall	Ansatt parametervärde
A-50	0,5
A-100	1,0
A-150	1,5
M-50	10/37,5/40
M-100	20/75/80
M-150	30/112,5/120
E-0	38,6 m
E-50	39,35 m
E-100	40,1 m

3.5.2 Ytflödesmodell

I ytflödesmodellen, Mike 21, och den kombinerade modellen, Mike Flood, undersöktes tre parametrars känslighet. Parametrarna var dämpningsfaktor, markvärde samt torka/översvämningar. Liksom i den hydrauliska modellen varierades parametrarnas värde med $\pm 50\%$. Förändringen i ackumulerat flöde från noder till terräng studerades.

Dämpningsfaktorn

Dämpningsfaktorn reglerar upptransporten av vatten från noderna till terrängen. I känslighetsanalysen testades hur stor påverkan på översvämningens volymen regleringen av vattnet har. Fallet där dämpningsfaktorn förändrades namngavs med ett D följt av procentsatsen som faktorn förändrades med (Tabell 7). D-100 representerade ursprungsscenarioet.

Markvärde

För att undersöka vilken betydelse höjdvärdet där översvämningar ej tillåts inträffa har för översvämningens utbredning undersöktes parametern Markvärde. I känslighetsanalysen betecknades fallet med Mr följt av den förändrade procentsatsen (Tabell 7). Mr-100 representerade ursprungsscenarioet.

Torka/Översvämning

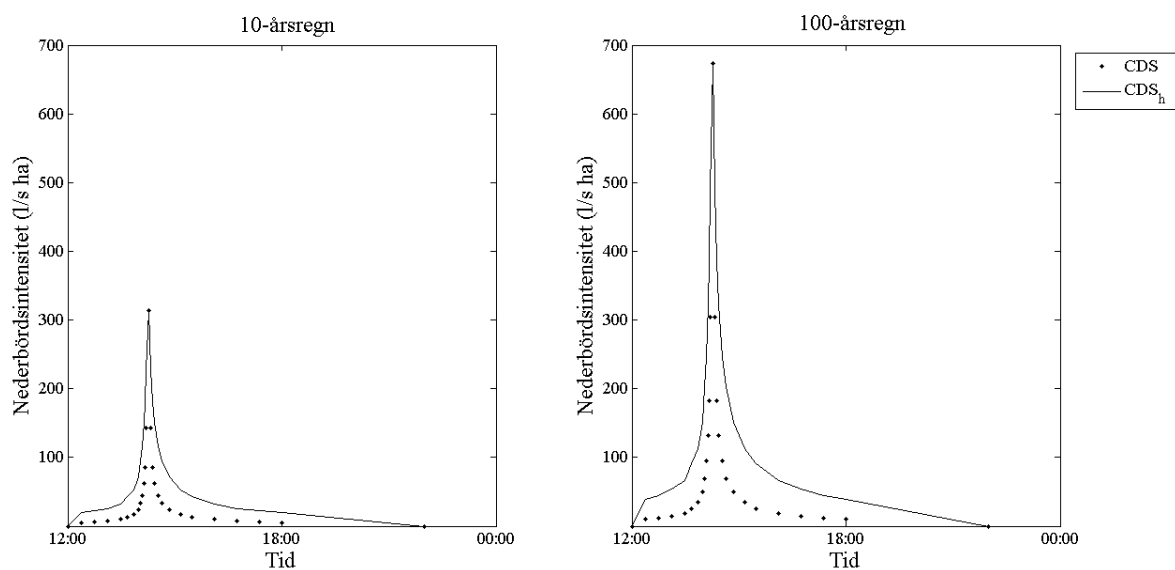
Känsligheten testades även på parametrarna Torka/Översvämning i avsikt att undersöka hur minsta vattendjup som flödesberäkningarna utförs för påverkar resultatet. Fallet namngavs med ett T/Ö följt av förändrad procentsats (Tabell 7). T/Ö-100 representerade ursprungsscenarioet.

Tabell 7. Ansatta parametervärden i känslighetsanalysen över ytflödesmodellen

Fall	Ansatt parametervärde (m)
D-50	0,05
D-100	0,1
D-150	0,15
Mr-50	5
Mr-100	10
Mr-150	15
T/Ö-50	0,02/0,025
T/Ö-100	0,04/0,05
T/Ö-160	0,06/0,075

CDS-regn

I ett tidigare skede av känslighetsanalysen användes ett CDS-regn med högre intensitet i blockregnen men med samma högsta intensitet. Resultatet från denna simulering användes för att belysa inverkan av blockregnets konstruktion på resultatet. CDS-regnet med högre blockregnsintensiteter benämns i arbetet som CDS_h (Figur 6). Scenarierna där CDS_h -regnet använts betecknades ScB_h , $ScEx_h$ och ScK_h . För att se vilken effekt regnet hade på översvämningens utbredning jämfördes vattennivån i ledningsnätets noder i ursprungsscenarierna mot vattennivån i scenarierna där CDS_h -regnet använts. Även översvämningens totala volym jämfördes.



Figur 6. Skillnaden mellan CDS-regnet och det större CDS_h -regnet. Den heldragna linjen representerar CDS-regnet och den prickade linjen CDS_h -regnet. Den vänstra figuren visar 10-årsregnet och den högra 100-årsregnet.

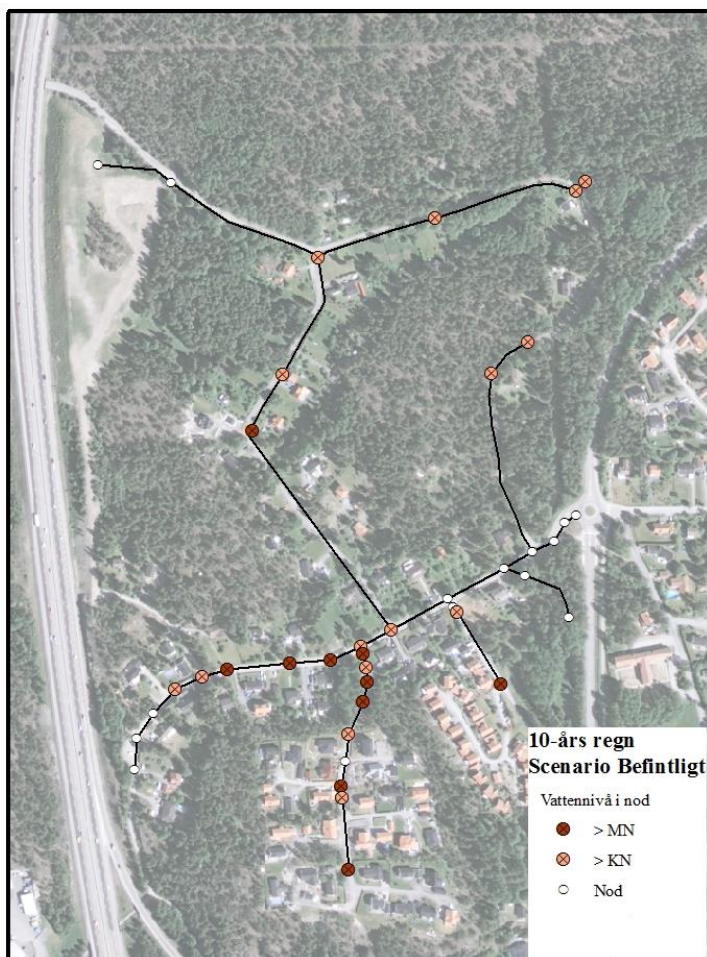
4 RESULTAT

4.1 SCENARIOANALYS

De resultatvariabler som valdes för att illustrera den hydrauliska påverkan på dagvattensystemet och översvämningsutbredningen var maximala vattennivåer på markytan samt vattennivå i noder. Vattennivån i noderna visas utifrån marknivå och en så kallad kritisk nivå. Den kritiska nivån sätts enligt Berggren m.fl. (2012) vanligen till 0,5 m under marknivå och användes för att visa brunnar där det fanns risk för översvämningar.

4.1.1 Vattennivåer i noder

Då det befintliga ledningsnätet belastades med ett 10-års regn skedde översvämningar i 10 av de 39 noderna. I 15 noder nådde vattennivån i ledningarna över den kritiska nivån, 0,5 m under marknivå (Figur 7).



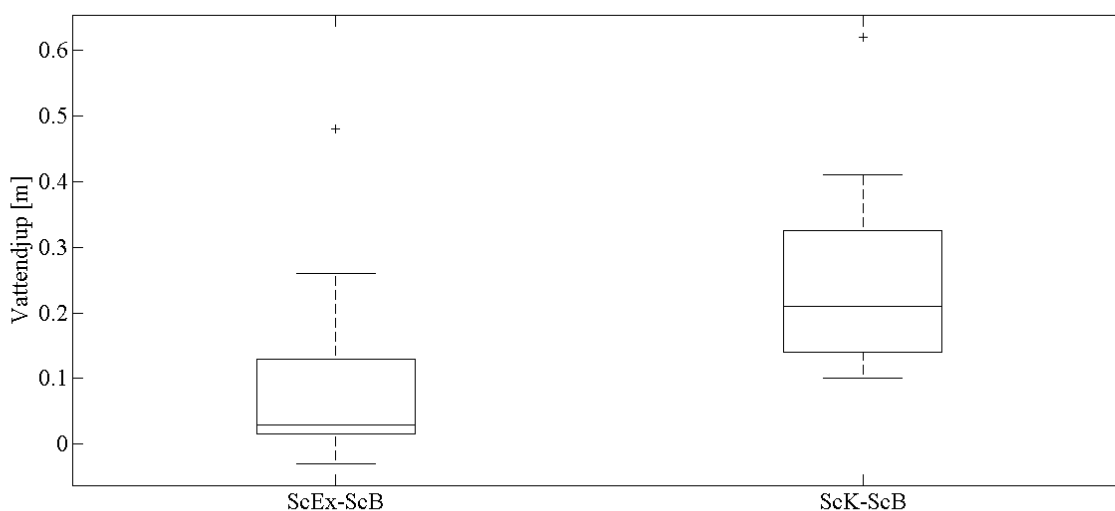
Figur 7. Översvämmade noder i ScB där vattennivån steg över marknivå (MN) respektive kritisk nivå (KN). ©Lantmäteriet Medgivande i2012/921.

Vid simuleringen av ScEx och ScK ökade antalet noder där vattnet i ledningsnätet nådde en kritisk nivå. I ScK ökade även antalet brunnar som översvämmas med cirka 30 % (Tabell 8).

Tabell 8. Antal noder där vattennivån överstiger marknivå respektive kritisk nivå

Scenarier	Antal noder	
	> Marknivå	> Kritisk nivå
ScB	10	15
ScEx	10	16
ScK	13	17

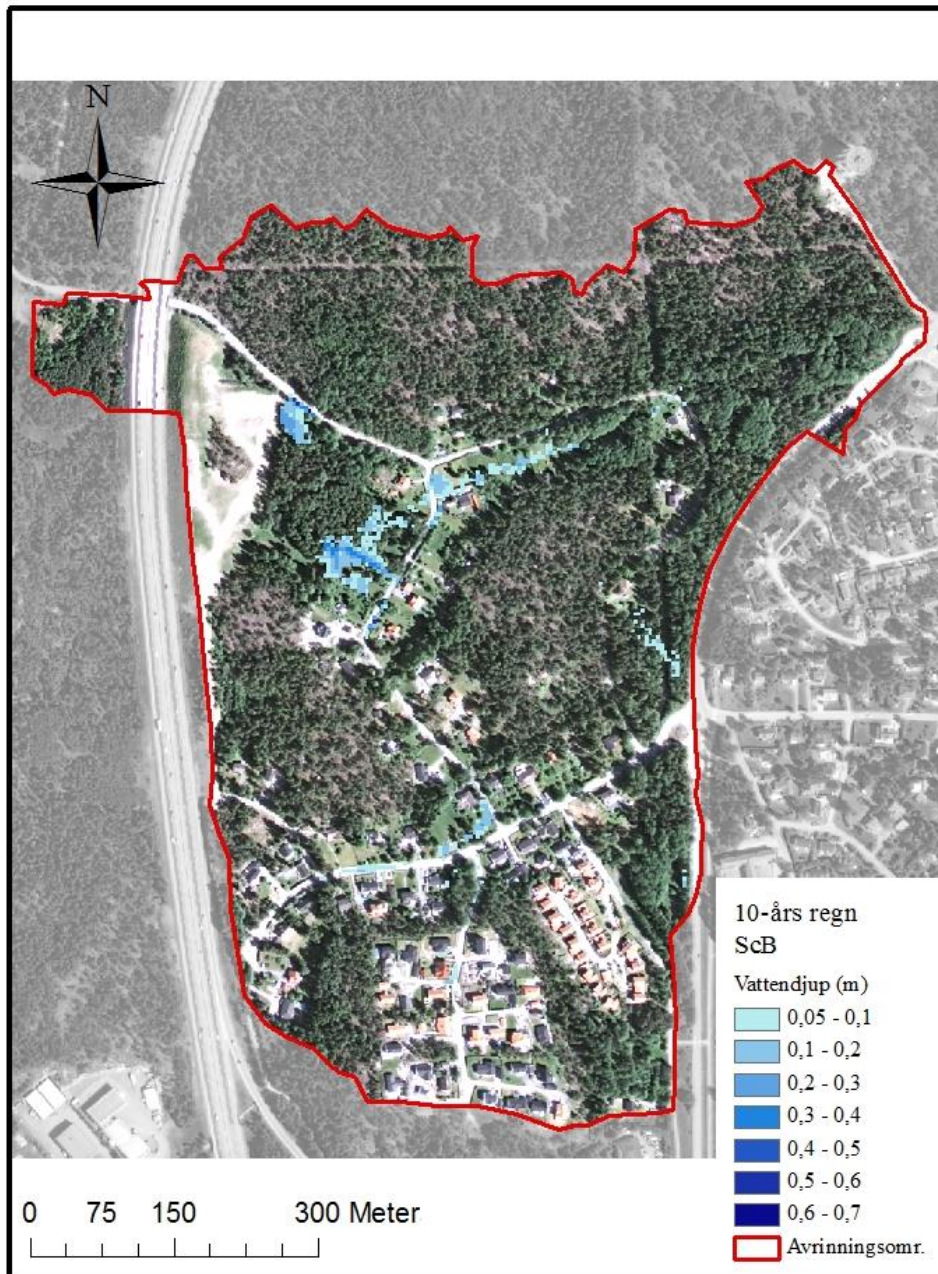
För att statistiskt kunna beskriva skillnaderna mellan de olika scenarierna jämfördes den maximala vattennivån i varje översvämmad nod mellan de olika scenarierna. Detta redovisas i ett boxplot-diagram med ett 95-procentigt konfidensintervall (Figur 8). Den maximala vattennivån var högre i samtliga scenarier då den jämfördes mot ScB. I jämförelsen mellan ScK och ScB uppmättes den största skillnaden i vattennivå till 0,62 m. Då ScEx och ScB jämfördes var den maximala skillnaderna i vattennivå 0,48 m och medianvärdet var 0,03 m.



Figur 8. Skillnaden mellan maximal vattennivå i översvämmade noder mellan olika scenarier. Boxploten visar medianvärdet samt undre och övre kvartilen.

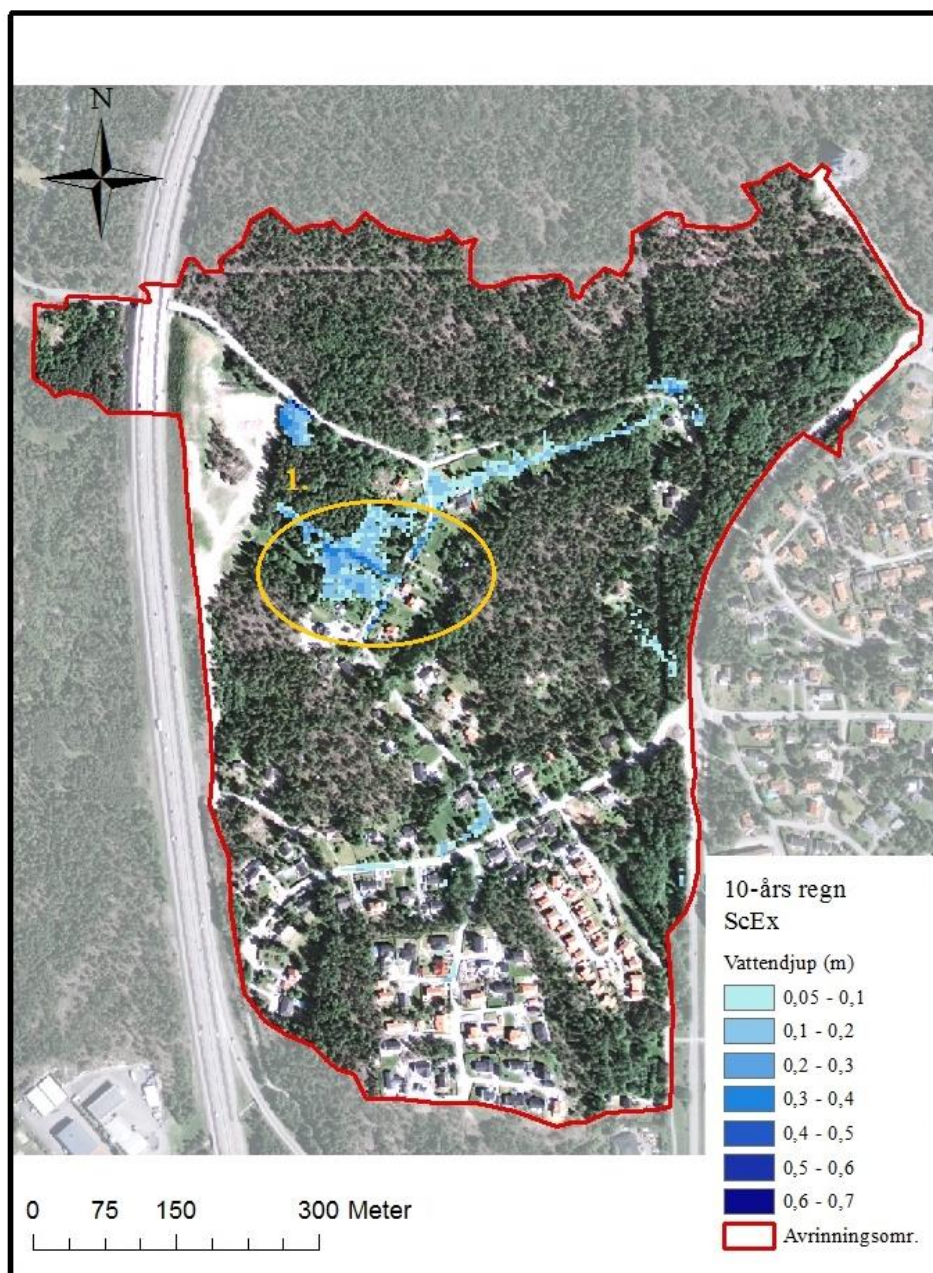
4.1.2 Maximala vattennivåer

Vid simuleringen av ett 10-års regn på det befintliga ledningsnätet skedde ansamlingen av vattnet i områdets lågpunktsområden (Figur 9). Där uppmättes även de maximala vattennivåerna under simuleringen. I den södra delen av området, där ledningsnät dominerar dagvattennätet, kunde kapaciteten i rören ses som tillfredsställande. Ytavrinningen i simuleringen översteg ej 0,1 m längs de gator där avrinning skedde. I den norra delen av området, där vattenavledningen domineras av diken, tillfördes naturmarksavrinning till diken från kringliggande mark.



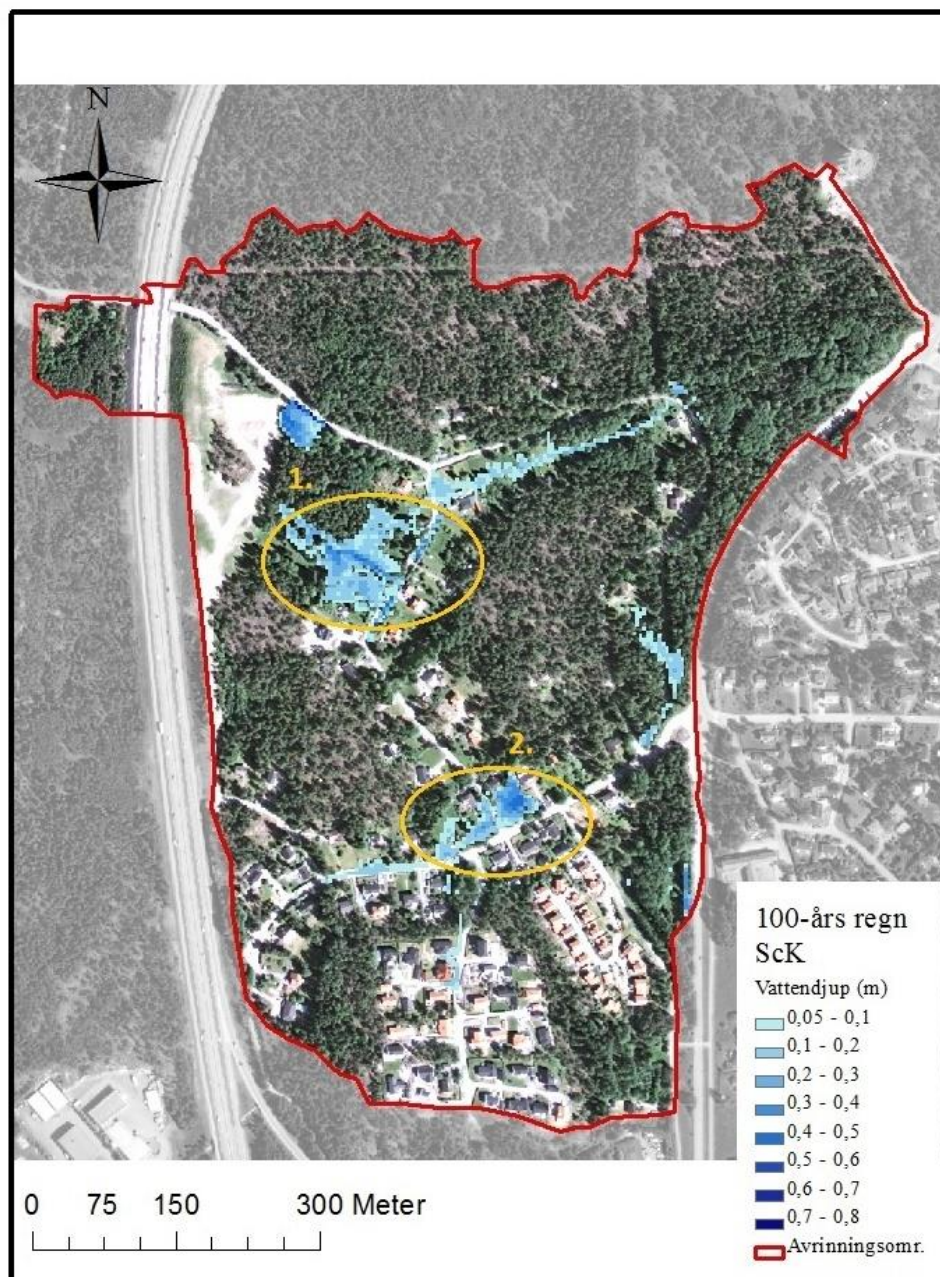
Figur 9. Maximala översvänningsnivåer som uppstod i simuleringen av ScB. ©Lantmäteriet Medgivande i2012/921.

Simuleringen av Scenario Exploatering, då områdets norra del exploateras enligt detaljplan, resulterade i en större avrinning och mer översvämmad markyta (Figur 10). Ett riskområde (1) kunde urskiljas i områdets nordvästra del där avrinning från hela områdets norra del ansamlades. De högsta vattendjupen som uppmättes låg kring 0,7 m och var lokaliserat i de befintliga diken vid riskområde 1. Belastningen i avrinningsområdets södra del var den samma som i ScB, med ett maximalt vattendjup på 0,3 m. Att belastningen ej ökade berodde på att avrinningen till ledningsnätet i söder var densamma.



Figur 10. Maximala översvämningsnivåer som uppstod i simuleringen av ScEx. Ett riskområde i nordväst har identifierats med en ring på kartan. ©Lantmäteriet Medgivande i2012/921.

För simuleringen av ScK blev översvämningssutbredningen betydligt större, både i den norra och södra delen av planområdet (Figur 11). Två riskområden för översvämningar kunde urskiljas, riskområde 1 och 2. Vattenståndet i riskområde 1 blev högre och markytan som översvämmas ökade. Den maximala vattennivån i simuleringen uppstod i samma dike i nordvästra delen av planområdet som vid ScEx och uppmättes till 0,8 m.



Figur 11. Maximala översvämningssnivåer som uppstod i simuleringen av ScK. ©Lantmäteriet Medgivande i2012/921.

Volymen vatten i översvämningarna ökade 1,8 ggr i SCEX jämfört mot ScB och 2,3 ggr i ScK (Tabell 9).

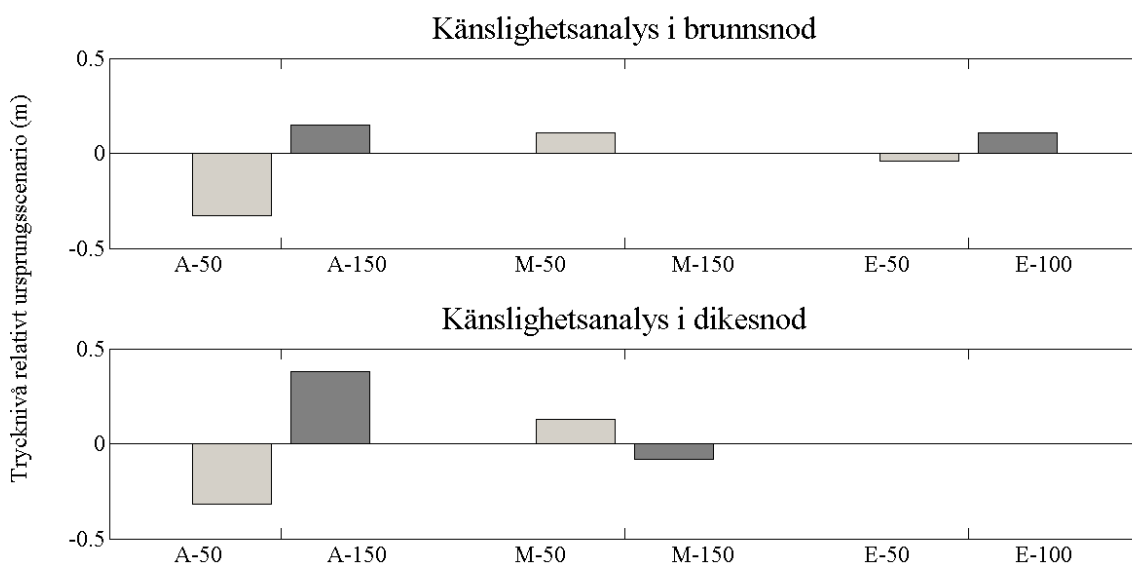
Tabell 9. Översvämningsvolymen i modellen.

Scenarier	Flöde till terrängen (m ³)
ScB	1581
ScEx	2880
ScK	3635

4.2 KÄNSLIGHETSANALYS

4.2.1 Hydraulisk modell

Då parametervärdena modifierades i den hydrauliska modellen förändrades trycknivån i brunnsnod respektive dikesnod enligt (Figur 12).



Figur 12. Förändring i trycknivå i en utvald brunnsnod respektive dikesnod då modellparametrar modifierats. Ljusgrå staplar visar utslaget då parametern reducerats med 50 procent och mörkgrå stapel visar fallet då parameterns värde ökats med 50 procent. A representerar parametern avrinningskoefficient, M parametern Mannings tal och E extern vattennivå.

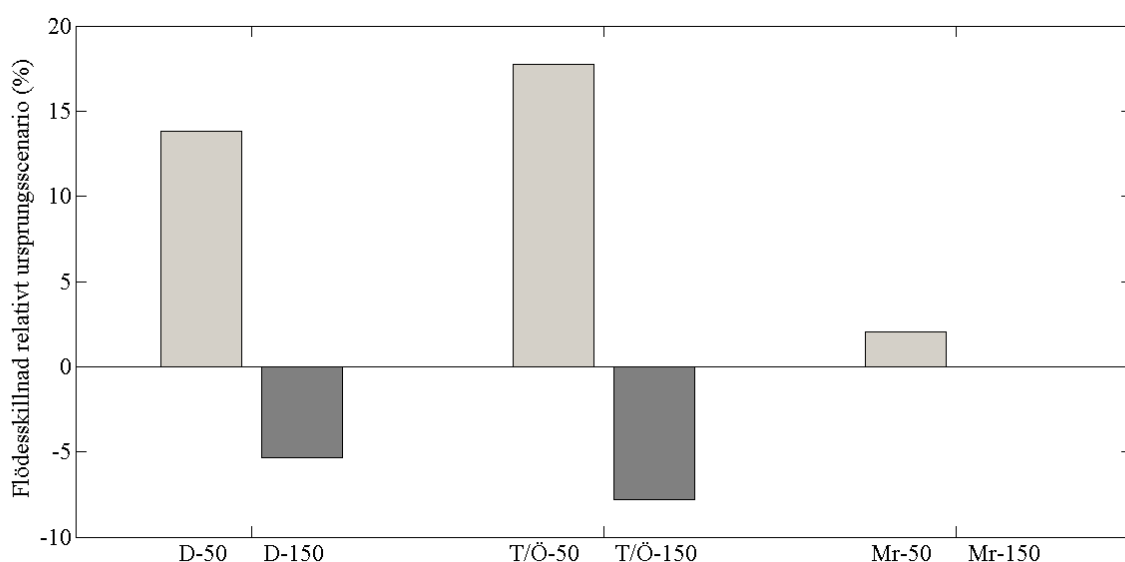
I brunnsnoden gav en 50-procentig reducering av avrinningskoefficienten (A-50) en tryckminskning på 0,34 m. En liknande tryckminskning på 0,32 m skedde i dikesnoden. Då avrinningskoefficienten ökades till dubbla värdet (A-150) gav detta ett större utslag i dikesnoden än brunnsnoden.

Simuleringarna då Mannings tal minskades med 50 procent (M-50) gav utslag i både dikesnod och brunnsnod. Då värdet på parametern dubblades förändrades dock endast trycknivån i dikesnoden.

För parametern extern vattennivå påverkade endast simuleringen av ett fullt dike trycknivån i brunnsnoden (E-100).

4.2.2 Ytflödes- och kombinerad modell

Då parametervärdena modifierades i ytflödesmodellen och den kombinerade modellen förändrades flödet från ledningsnät till terräng enligt (Figur 13).



Figur 13. Procentuell förändring i flödet från ledningsnät till terräng. Ljusgrå staplar visar utslaget då parametern reducerats med 50 procent och mörkgrå stapel visar fallet då parametrarnas värde ökats med 50 procent. D representerar parametern dämpningsfaktor, T/Ö parametrarna torka och översvämning och Mr markvärde.

Störst förändring skedde för parametrarna torka/översvämning där flödet till terrängen ökade med 17,8 procent då parametrarnas värde justerades till halva värdet (T/Ö-50). För dämpningsfaktorn visade resultatet tvärtom på ett 13,8 procent större flöde då dämpningsfaktorns värde halverades. För markvärdet gav endast en halvering av parametervärdet utslag (Mr-50) och flödet till terrängen ökade då med 2,1 procent.

4.2.3 Indata

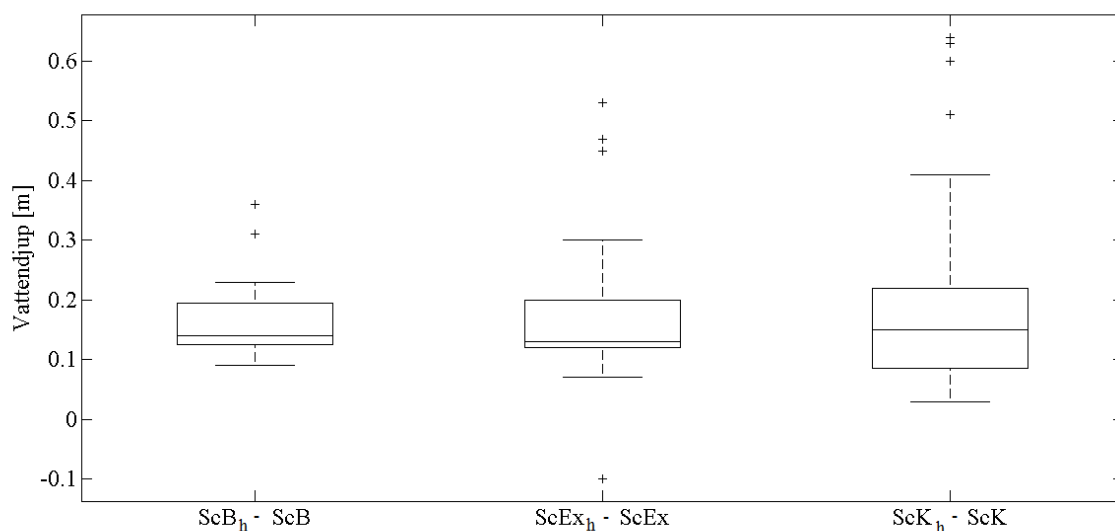
CDS-regn

Det för känslighetanalysen konstruerade CDS_h -regnet gav cirka 2,4 gånger högre volym på regnmängd och avrunnen volym i modellen jämfört med det tidigare använda CDS -regnet. Den relativa förändringen i översvämningens volym gentemot ursprungsscenarierna hade samma storleksordning för ScB_h och $ScEx_h$. För ScK var den relativa förändringen dock större (Tabell 10).

Tabell 10. Flödet till terrängen med för känslighetsanalysen konstruerade CDS_h-regnen relativt flödet till terrängen med de tidigare använda CDS-regnen

Scenarier	Relativa flöden till terrängen (m ³)
ScB _h	1,3
ScEx _h	1,2
ScK _h	1,6

Med det nya CDS-regnet förändrades vattennivån i systemets noder enligt (Figur 14).



Figur 14. Skillnaden i vattennivå i översvämmade noder mellan scenarier där olika CDS-regn använts. Boxploten visar medianvärdet samt undre och övre kvartilen.

Medianvärdet för trycklinjens förändring för de olika scenarierna låg på mellan 0,13 – 0,15 m. Störst förändring i vattennivå skedde då det större CDS-regnet användes i Scenario Klimatförändringar. De höga värdena, uteliggarna, är alla uppmätta i dikesnoder. I ledningsnätet var skillnaden i vattennivå aldrig högre än 0,22 m för samtliga scenarier.

5 DISKUSSION

5.1 SCENARIOANALYS

Scenarioanalysen visade att både exploatering i området och klimatförändringar kommer att ge översvämningar i delar av dagens ledningsnät. Dagens diken räcker inte till att leda bort de dagvattenflöden som uppstår och då området exploateras blir översvämningsutbredningen stor i de diken som idag leder dagvattnet ned mot ledningsnätet. Att medianvärdet i ScEx (Figur 8) var så pass lågt berodde på att endast en del av avrinningsområdet exploaterades. Uteliggarna i boxplotdiagrammet representerar de dikesnoder som faktiskt påverkades av exploateringen. Vid jämförelse av översvämningsytorna i ScB (Figur 9) och ScEx (Figur 10) är det samma områden men större areal som översvämmas i ScEx. Från exploateringsscenarioet kan ett riskområde identifieras, riskområde 1. Med tanke på att det i detaljplanen planeras att byggas ett nytt bostadsområde i just detta område är det av vikt att ett nytt ledningsnät dimensioneras och konstrueras.

Då det befintliga ledningsnätet belastas med större regn i ScK kan två riskområden för översvämningar identifieras (Figur 11). I riskområde 2 är sannolikhets stor att flera villatomter översvämmas vid intensiva regn. I detta område borde alternativa vattenvägar vid stora regn diskuteras. Vid jämförelse av ScEx och ScK är både översvämningsarnas utbredning och dess volym större i ScK. Att dimensionera ledningsnät för översvämningar i den storleksordning som förekommer i ScK är ej rimligt. Däremot borde alternativa lösningar tas fram för att hantera översvämningar som kan uppstå vid intensiva regn. Då Mike Flood är en dynamisk modell ges, som tidigare nämnts, möjligt att se vilka brunnar som översvämmas och vart vattnet tar vägen. Genom att studera översvämningsförloppet kan nödvändiga översvämningsytor identifieras. Med översvämningsyta menas då naturligt eller skapade svackor i terrängen som vanligtvis är torrlagda (Ahlman, 2011). Modellen kan även användas för att fastställa var eventuella barriärer för vattnet kan konstrueras.

Validering

Den utförda GIS-analysen över avrinningsområdet visade lågpunktsområden som kan tänkas känsliga för översvämningar (Figur 5). Analysen påvisade således bara möjliga översvämningsytor vid extremscenarier där ledningsnäten antas fulla. Vid jämförelse av de iakttagelser som gjorts vid fältbesöket verkade de identifierade lågpunktsområdena i GIS-analysen stämma överrens med de blötlagda områdena i Västra Länna (Appendix C). Då GIS-analysens resultat jämfördes mot Scenario Klimatförändringars översvämningsutbredning (Figur 13) kunde det konstateras att den uppsatta modellens översvämningsutbredning var rimlig. Däremot är det svårt att bedöma huruvida den hydrauliska förmågan i modellen beskrivs tillfredsställande. För att fastställa hydraulikens riktighet borde flödesmätningar i ledningsnäten utförts.

5.1.1 Felkällor i modelleringen

Infiltration

En felkälla som bör tas hänsyn till i modelleringen är modellens behandling av infiltration. Då avrinningen beräknas i Mike Urban vägs markens infiltrationsförmåga in. Modellen tar dock ej hänsyn till eventuell infiltration som kan ske i diken. Det betyder att flödet i ledningsnätet kan vara något överskattat. För att ta hänsyn till infiltrationen i diken borde Mike Urbans funktion RDI utnyttjats. Funktionen kräver dock mer indata kring markparametrar och är därför även mer tidskrävande.

Ett annat problem som begränsningen av infiltration ger upphov till är i flödessimuleringarna med Mike 21. Då ytorna som vattnet flödar över betraktas som mättade i modellen kan översvämningsvolymen i vissa områden överskattas. Framst gäller detta naturmarksområdet i norr där exploatering planeras. Trots att modellen ej tar hänsyn till infiltrationen i detta område kan modellen användas som en riktlinje för att se om åtgärder bör vidtas eller ej. I områdets södra del som utgörs mer av hårdgjord yta, är översvämningsutbredningen mer korrekt beskriven. Då modellen belastas med intensiva regn, som i Scenario Klimatförändringar, kan det ändå ses som rimligt att markens infiltrationsförmåga reducerats och att marken i vissa områden mättats. Avgörande för hur mycket infiltration som kan ske är förstås vilken typ av mark området består av.

Diken

En stor osäkerhet i den framtagna modellen var diken. I Mike Flood görs kopplingar endast i noderna vilket innebär att det bara är i noderna som vattnet kan rinna ur ledningsnätet till terrängen. I öppna kanaler och diken kan nodkopplingarna förlängas, men för att kunna göra detta får lutningen i diken eller kanaler ej vara för stor. Mike Flood ansätter nämligen den högsta markhöjden utanför kopplingen i terrängen som marknivå i noden. När vattennivån i diket når marknivån rinner vattnet ut över terrängen (DHI, 2012b). Om markhöjden utanför kopplingen varierar mycket kan en för hög marknivå ansättas vilket resulterar i att vatten som egentligen skulle nått terrängen istället stannar kvar i diket. Att marknivån medför osäkerhet i modelleringen av diken blir tydligt då antal noder där vattennivån överstiger marknivå ej ökar mellan ScB och ScEx (Tabell 8) trots att översvämningsutbredningen vid dikesnoderna ökar (Figur 12). Det kan konstateras utifrån modelleringen att det är viktigt att marknivån som bestäms i den hydrauliska modellen överensstämmer med marknivån i ytflödesmodellen. Resultatet från översvämmade dikeskopplingar i den över Västra Länna uppsatta modellen är något som bör behandlas kritiskt.

Delavrinningsområden

I modellen har delområdena som använts delats in efter thiessenpolygoner. Dessa studerades och modifierades delvis där områdena stämde alltför dåligt överens med de delavrinningsområden som tagits fram utifrån höjddata. Att endast använda indelning efter thiessenpolygoner kan ge felaktiga resultat vad gäller vilka noder som översvämmas. Den totala flödesvolymen som når systemet förblir densamma, men var vattnet i modellen kommer in i systemet kommer att skilja sig från verkligheten. Störst utslag torde detta ge i kuperade områden och i områden där avstånden mellan noderna är stora.

5.2 KÄNSLIGHETSANALYS

5.2.1 Hydraulisk modell

Känslighetsanalysen av den hydrauliska modellen visade att avrinningskoefficienten är den av de tre undersökta parametrarna där variation ger mest påverkan på modellresultatet. Parametern gav högst utslag, både i dikesnod och brunnsnod. Då värdet på avrinningskoefficienterna minskade med 50 procent blev effekten densamma i dikesnod som i brunnsnod. När parameterns värde multiplicerades med 1,5 förändrades vattennivån mest i dikesnoden. En avrinningskoefficient som förändras med ± 50 procent kan resultera i flera decimeters trycknivåskillnad. I uppbyggnaden av en hydraulisk modell är det därför av stor vikt att denna parameter behandlas med noggrannhet. Det bör dock påpekas att intervallet ± 50 procent är mycket stort tilltaget och sannolikheten att avrinningskoefficienter ansätts med så stort fel är låg.

Variationen av Mannings tal visade sig ge liknande förändringar i trycknivå i både dikesnod och brunnsnod. En ökning av Manning tal gav dock ej någon förändring i trycknivån i brunnsnoden. I ledningsnätet som leder till brunnen består materialet av cement eller plast, material som har högt Manning tal. Ett ökat värde på Manning tal på material med redan höga värden minskar således ej friktionen i den utsträckningen att trycknivån i ledningsnätet förändras. För diket, med ett lågt Manning tal, påverkas trycklinjen av den minskade friktionen och vattennivån sjunker. Ett ledningsnät med många diken kan följaktligen påverkas om Manning tal ej ansätts korrekt. Ledningsnät bestående av material med låg friktion, det vill säga högt Mannings tal, påverkas mindre av parametern och behöver därför inte behandlas med större noggrannhet vid modelleringen. Ett problem är dock att avgöra vad som faktiskt är ett rätt korrekt värde på Manning tal.

Då parametern extern vattennivå ansattes så att utloppet var fullt påverkades endast brunnsnoden i ledningsnätets södra del. Ett fullt utlopp gav således endast en effekt i trycknivån närmast utloppet. Ju längre upp i systemet desto mindre effekt i ledningsnätets trycknivå. När diket ansattes som halvfyllt förändrades trycknivån i brunnsnoden marginellt. I dikesnoden som är placerad några hundra meter från utloppet

förändrades ej trycknivån. Att ansätta rätt nivå på parametern extern vattennivå i modelleringen kan alltså vara viktigt för storleken på översvämningen i noder nära utloppet medan betydelsen för rätt ansatt värde då givetvis minskar med avståndet från utloppet.

5.2.2 Ytflödes- och kombinerad modell

Av de parametrar vars känslighet undersöktes i ytflödesmodellen och den kombinerade modellen var torka/översvämningar den som bidrog med högst osäkerhet. Vilket vattendjup som ansätts till tröskelvärdet har alltså stor betydelse för volymen vatten som sprids över terrängen. Utifrån känslighetsanalysen kan det därmed konstateras att parametern för översvämningar/torka bör behandlas med noggrannhet i modellering med Mike Flood. Ju lägre värde som ansätts, desto större volym sprids från ledningsnätet (Figur 15) och större ytor blir översvämmade.

Från känslighetsanalysen kan det konstateras att en ökad dämpningsfaktor ger ett mindre vattenflöde till terrängen och tvärtom. Ett halverat värde på parametern ger en större påverkan på flödet än en dubbling. Modellresultatets känslighet påverkas således icke-linjärt då dämpningsfaktorn varierar

Parametern markvärde bedöms ha liten osäkerhet då variation av denna ej ger något större utslag i översvämningens volym. Då parameterns värde minskades blev översvämningarna marginellt större. Att översvämningarna ökar är förväntat då en minskning av parameterns värde innebär att mer markyta i modellen tillåts översvämmas. Vid en ökning av parameterns värde skedde däremot ingen förändring.

5.2.3 Indata

CDS-regn

Med högre regnintensiteter på CDS-regnet ökade flödesvolymen i ledningsnätet. Känslighetsanalysen visade att förändringen i maximal vattennivå är högst för ScK men medianvärdet är i snitt detsamma för alla scenarier. Som tidigare diskuterat kan vattennivån i dikesnoderna vara mindre tillförlitliga och CDS-regnets påverkan i dessa dikesnoder diskuteras därför inte vidare. I ledningsnätets brunnknoder gav det nya CDS-regnet små förändringar i trycknivå. I totala flödet till terrängen ses dock en tydlig förändring, något som är förväntat då mer vatten kommer in i ledningsnätet. För ScB och ScEx var den relativa förändringen i samma storleksordning. Ett CDS-regn med högre intensiteter på blockregnen kan alltså resultera i små förändringar i maximal trycknivå, men stora förändringar i flödesvolym till terrängen. Detta visar att CDS-regnets konstruktion är viktig för att översvämningens volymerna skall bli korrekta. Om volymerna används vid till exempel beräkning av magasinens volymer kan magasinerna bli feldimensionerade. Då den hydrauliska modellen används för att studera trycknivå och antal översvämmade brunnar fungerar modellen fortfarande tillfredsställande, trots högre blockregnsintensiteter. För ScK var den relativa förändringen större än för de andra scenarierna vilket innebär att förhöjda blockregnsintensiteter påverkar översvämningens volymerna icke-linjärt.

5.3 SAMMANKOPPLING MED TIDIGARE STUDIER

I tidigare studier har det fastställts att avrinningskoefficienterna har en avgörande betydelse för modellresultatet vid modellering av urbana system. Kleidorfer (2009) undersökte känsligheten i två hydrologiska modeller, MUSIC och KAREN, på ett flertal områden i Melbourne, Australien. I dessa studier konstaterade Kleidorfer att parametern för avrinningskoefficienter är mest känslig. Ahlin (2012) utförde en känslighetsanalys av en i Mike Urban uppsatt modell över ett dagvattennät i Sundbyberg, Stockholm. I studien konstaterades det att osäkerheterna i avrinningskoefficienterna påverkar resultatet mest. I en rapport av Vanderkimpen och Peeters (2008) utreds påverkan av olika modellparametrar på hydrauliska resultat i Mike Flood. Författarna påvisar att parametern markresistansen har stor inverkan på modellresultatet.

I tillägg till tidigare studier (Vanderkimpen och Peeter, 2008; Kleidorfer, 2009; Ahlin, 2012) kan det konstateras att det i en icke kalibrerad modell i Mike Flood är viktigt vilket värde som ansätts på parametrarna översvämning/torka och dämpningsfaktorn. I likhet med tidigare studier kan det även konstateras att avrinningskoefficienterna har en avgörande betydelse för modellresultatet. I tillägg till de ingående modellparametrarnas bidragande osäkerheter visade denna studie att hög noggrannhet i CDS-regnens konstruktion och markhöjder vid dikesmodellering är viktig för ett realistiskt översvämningresultat (Tabell 11).

Tabell 11. Jämförelse mot tidigare studier inom urban vattenmodellering

Modeller	Osäkra modellparametrar	Osäker indata
Mike 21 + Mike 11 (Vanderkimpen och Peeter, 2008)	Markresistans	-
MUSIC/KAREN (Kleidorfer, 2009)	Avr. koefficienter	Regndata
Mike Urban (Ahlin, 2012)	Avr. koefficienter	-
Mike Urban + Mike 21 (Denna studie)	Avr. koefficienter, torka/översvämningar, dämpningsfaktor	Markhöjder vid modellering av diken, CDS-regnets konstruktion

5.4 FORTSATT STUDIER

Något som vore intressant att undersöka vidare i studieområdet Västra Länna är vilka lösningar som skulle vara lämpliga för att undvika översvämningar i de identifierade riskområdena och att utveckla en dagvattenstrategi för exploateringsscenariot.

Modellparametrar är ofta modellspecifika och vilka värden som är lämpliga på parametrarna varierar från modell till modell. Även om parametrarna representerar samma fysikaliska bakgrund är de sällan överförbara (Kleidorfer, 2009). En jämförande studie över hur känsligheten för olika parametrar varierar mellan olika modeller hade kunna ge svar på hur parametervärden skulle kunna optimeras utan kalibrering.

Hur indelningen i delavrinningsområden påverkar översvämningsresultatet är en viktig fråga. Om områdena tas fram utifrån Mike Urbans thiessenpolygonfunktion eller utifrån höjddata borde rimligtvis ge skillnad i resultat. Ett förslag till vidare studie vore att undersöka vilken metod som bör användas vid indelning av delavrinningsområden och hur noggrant detta bör utföras.

6 SLUTSATS

Genom att använda programmet Mike Flood kan översvämningsrisker i områden som exploateras eller utsätts för intensiv nederbörd kartläggas. Med metoden som utnyttjas i denna studie kan översvämningarnas utbredning och volymer beräknas och brunnar där vattennivån når marknivå identifieras. Sådan information kan användas för att fastställa var det finns behov av nya dagvattenlösningar och uppskatta dimensioner på dessa. Studien har visat att Mike Flood passar bäst att använda i urbana områden. Behandling av öppna diken i Mike Flood fungerar ej tillfredsställande i kuperade områden vilket innebär att programmet lämpligen bör användas då dagvattensystemet domineras av ledningsnät.

Scenarioanalysen visade att faktorer som exploatering och klimatförändringar kan ge stor effekt på ett dagvattensystem som är dimensionerat för att klara 10-årsregn. De slutsatser som kan dras från översvämningsmodelleringen av Västra Länna är att det vid exploatering i den grad som planeras i området krävs nya dagvattensystem. En ny dagvattenstrategi över det exploaterade området i riskområde 1 bör upprättas. I riskområde 2 bör en åtgärdsplan tas fram för att hantera översvämningar som kan uppstå vid intensiva regn.

Utifrån den utförda känslighetsanalysen kan det konstateras att det vid översvämningsmodellering med Mike Flood krävs att vissa parametrar handskas med större noggrannhet än andra. Viktigt i den hydrauliska modellen är att de avrinningskoefficienter som ansätts är grundligt utredda. För ytflödesmodellen bör parametrarna översvämning/torka samt dämpningsfaktorn behandlas noggrant. Viktigt för resultatet av översvämningsutbredningen är även CDS-regnets konstruktion. Vilken typ av regn som används i modellering kan ge stora utslag på resultatet. Om Mike Flood används vid modellering av diken är det av vikt att markhöjderna som ansätts för diken i den hydrauliska modellen överensstämmer med markhöjden i ytflödesmodellen.

Det kan vara svårt att kalibrera och validera en modellerad marköversvämning mot verkligheten. Om modellresultaten används för att identifiera områden där åtgärder bör vidtas antas validering av modellen genom GIS-analys och observationer vara tillräcklig.

7 REFERENSER

Ahlman, S., 2011. *Plan B-hantering av översvämningar i tätorten vid extrema regn*. Rapport nr 2011-03. Stockholm: Svenskt Vatten.

Ahlin, E., 2012, *Modellering av dagvattennät utgående från markhöjder*. Examensarbete 2012, Institutionen för geovetenskaper, luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala Universitet.

Berggren, K., Olofsson, M., Viklander, M., Svensson, G., Gustafsson, Anna-Maria., 2012. *Hydraulic Impacts on Urban Drainage Systems due to Changes in Rainfall Caused by Climatic Change*. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, Vol:17, nr:1.

Berg, P., McCowan, A.D. Rasmussen, E.B., 2001. *Improving the Performance of a Two-dimensional Hydraulic Model for Floodplain Applications*. Conference on Hydraulics in Civil Engineering. Hobart, 28-30 November 2001. The Institution of Engineering: Australia.

DHI, 2012a. *MOUSE Pipe Flow - Reference Manual*. DHI.

DHI, 2012b. *Mike Urban - Collections system*. DHI.

DHI, 2012c. *MOUSE - Runoff Reference Manual*. DHI.

DHI, 2007. *Mike 21 Flow Model – Hydrodynamic Module*. DHI

Frimodt, K.O. 2008, *Användarvänlighet hos programverktyg för beräkningar av flöden och dämningnivåer i avloppsnät*. Examensarbete i Miljö- och vattenteknik, ISSN 1401-5765, Institutionen för geovetenskaper, luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala Universitet.

Granlund, B. Nilsson D., 2000, *Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av avloppsmodeller*, VA-FORSK Rapport 2000-7. Stockholm: VAV AB ISBN: 91-89182-44-8.

Hedlund, U. Svensson, G., 2010. *Kommunal översvämningssplanering med nya nationella höjdmodellen*. Utvecklingsprojekt Tyréns AB via Lantmäteriet, http://www.lantmateriet.se/Global/Kartor%20och%20geografisk%20information/H%C3%B6jddata/NNH_Anv-erfarenheter/rapport_101115_sandviken.pdf (2013-02-22).

Hénonin, J., Russo, B., Suñer Roqueta, D., Sanchez-Diezma, R., Donna Sto Domingo, N., Thomsen, F., Mark, O., 2010. *Urban flood real time forecasting and modeling: A state of the art review*. MIKE by DHI Conference. Copenhagen, 6-8 September 2010.

Kleidorfer, M. 2009, *Uncertain calibration of urban drainage models*. Leopold Franzens Universität. Innsbruck.

Lans, A. 2012. *Hydraulisk och hydrologisk vattenmodellering i tidiga planskeden*. Examensarbete 2012, Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser, Luleå tekniska universitet.

Lantmäteriet, 2012. *Produktbeskrivning: GSD-Höjddata, grid 2+*. Lantmäteriet.

Ljung, L., Glad, T. 2004, *Modellbygge och simulering*. 2:a upplagan. Lund: Studentlitteratur.

Lundqvist, A., 2008. Västra Länna 1, *Dagvattenutredning*. Vägverket Konsults, opublicerat manuskript.

Persson, A., Linder, M., 2011. *Fördjupad dagvattenutredning, Västra Länna, Huddinge kommun*. Vectura, opublicerat manuskript.

Skytt, V., 2012. *NNH och naturolyckor, Inventering av genomförda tillämpningar av den nya nationella höjdmodellen (NNH) - med fokus på naturolyckor och katastrofriskreducerande arbete*. ISBN 978-91-7383-202-1.

SMHI, 2012. *Oktober 2012 – Lufttemperatur och nederbörd*.
http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.27327!w14_okt12.pdf (2013-02-27).

Stensen, B., 2011. *Regional klimatsammanställning, Stockholms län*. Rapport 2010-78, Norrköping; SMHI.

Svenskt Vatten, 2004. *Dimensionering av allmänna avloppsledningar. Publikation P90*. Stockholm: Svenskt Vatten.

Svenskt Vatten, 2011a. *Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem. Publikation P104*. Stockholm: Svenskt Vatten.

Svenskt Vatten, 2011b. *Hållbar drän- och dagvattenhantering. Publikation P105.*
Stockholm: Svenskt Vatten.

Naturvårdsverket, 1996. *Avloppsledningar – Att undersöka och förbättra.* Rapport 4656,
AB Realtryck, Stockholm: Naturvårdsverket.

Vanderkimpen, P., Peeters, P. 2008. *Flood modeling for risk evaluation – a MIKE
FLOOD sensitivity analysis.* Flanders Hydraulics Research, Antwerp, Belgium

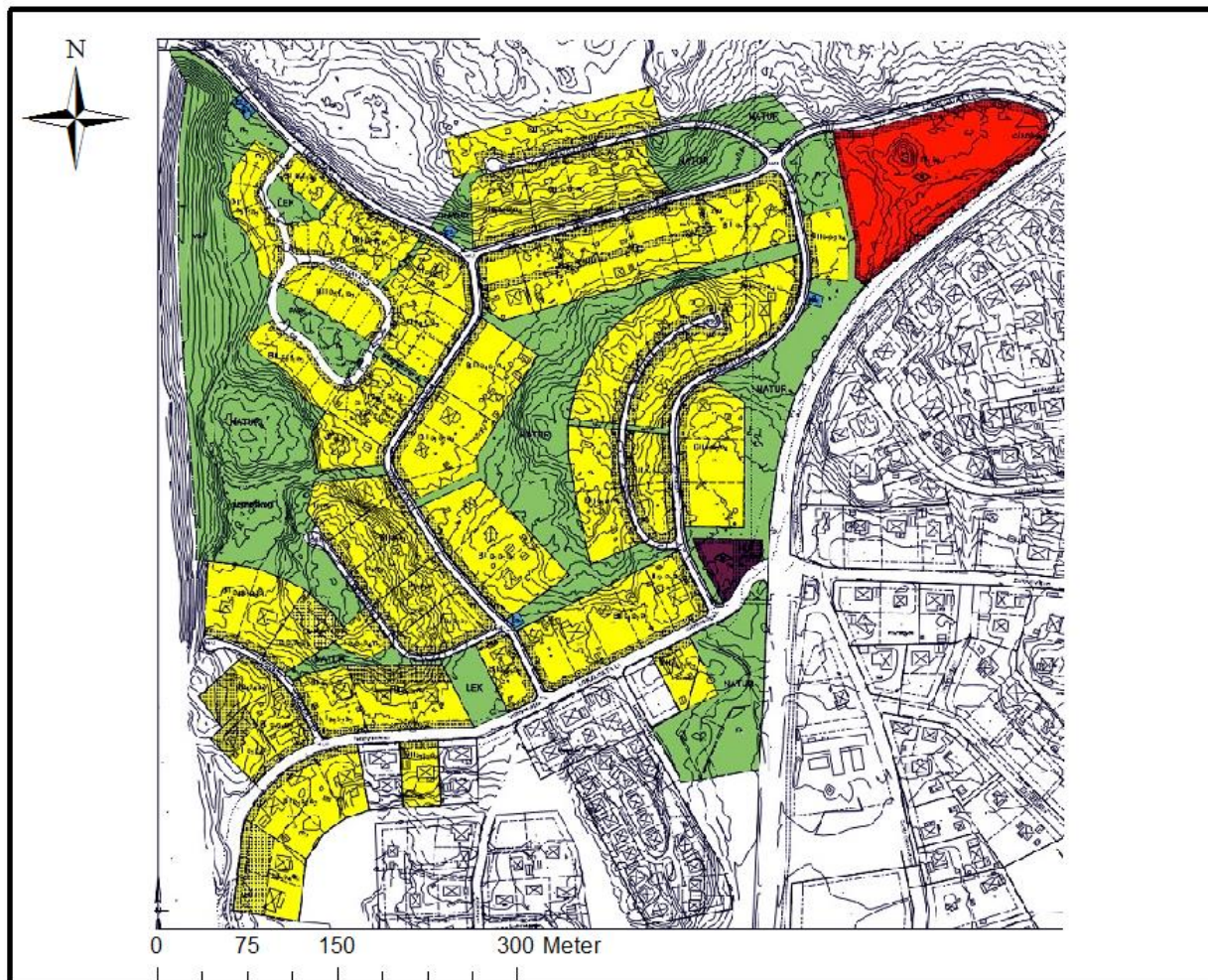
Vägverket, 2008. *VVMB-310 Hydraulisk dimensionering. Publikation 2008:61.*
Borlänge: Vägverket.

Personlig kontakt

Ahlquist-Juhlén, Marta, 2012-2013. Projektledare, avdelningen för VA, Ramböll,
Sverige.

Thorén, Henrik, 2012-2013. Ingenjör, Avdelningen för klimatanpassning och
spillvattensplanering, Ramböll Danmark.

APPENDIX A – DETALJPLAN



APPENDIX B – UPPHÖJDA PUNKTER



APPENDIX C – FÄLTBESÖK FÖR KONTROLL AV ÖVERSVÄMNINGSOMRÅDEN

Från det utförda fältbesöket i Västra Länna kunde områden med stående vatten kartläggas. De röda punkterna markerar områden med stående vatten.





Område 1. Nordvästlig riktning.



Område 2. Sydvästlig riktning.

APPENDIX D - AVRINNINGSKOEFFICIENTER

Delavrinningsområde	Ansatta avrinningskoefficienter	
	Scenario Befintligt	Scenario Exploatering
1	0,25	0,25
2	0,11	0,11
3	0,25	0,25
4	0,25	0,25
5	0,25	0,25
6	0,15	0,15
7	0,15	0,15
8	0,15	0,15
9	0,15	0,15
10	0,15	0,15
11	0,15	0,15
12	0,1	0,1
13	0,15	0,1
14	0,15	0,15
15	0,15	0,15
16	0,1	0,1
17	0,1	0,15
18	0,15	0,15
19	0,1	0,15
20	0,15	0,15
21	0,22	0,22
22	0,1	0,1
23	0,1	0,1
24	0,12	0,1
25	0,1	0,1
26	0,1	0,1
27	0	0
28	0,12	0,3
29	0,13	0,3
30	0,11	0,3
31	0,1	0,2
32	0,1	0,2
33	0,1	0,2
34	0,2	0,2
35	0,1	0,3
36	0,1	0,1
37	0,15	0,15
38	0,1	0,1
39	0,1	0,1
40	0,1	0,1