

Master Thesis
TVVR 17/5015

Tillämpning av öppna dagvattenlösningar vid ytavrinningsmodellering

En fallstudie över Bjuvs tätort med fokus på skyfall

Helena Vikingson
Emil Moberg



Division of Water Resources Engineering
Department of Building and Environmental Technology
Lund University

Tillämpning av öppna dagvattenlösningar vid ytavrinningsmodellering

En fallstudie över Bjuvs tätort med fokus på skyfall

By:
Helena Vikingson
Emil Moberg

Master Thesis

Division of Water Resources Engineering
Department of Building and Environmental Technology
Lund University
Box 118
221 00, Lund, Sweden

Water Resources Engineering
TVVR-17/5015
ISSN-1101-9824
Lund 2017
www.tvrl.lth.se

Master Thesis
Division of Water Resources Engineering
Department of Building & Environmental Technology
Lund University

Swedish title: Tillämpning av öppna dagvattenlösningar vid ytavrinningsmodellering

English title: Practice of open storm water solutions in overland flow modelling

Author: Helena Vikingson och Emil Moberg

Supervisors: Rolf Larsson, Teknisk Vattenresurslära, LTH och
Gunnar Svensson, Tyréns Malmö

Examiner: Linus Zhang, Teknisk Vattenresurslära, LTH

Language: Swedish

Year: 2017

Nyckelord: MIKE 21; Öppen dagvattenhantering; Ytavrinningsmodellering; Skyfall;
Översvämningshantering; Marköversvämning

Keywords: MIKE 21; Open storm water systems; Overland flow modelling; Cloud-
burst; Flood control; Inland flooding

Förord

Detta examensarbete är det sista momentet vi gör under våra respektive utbildningar inom Ekosystemteknik och Väg- och Vattenbyggnad innan vi båda avlägger examen. Vi har under majoriteten av tiden suttit på Tyréns vattenavdelning i Malmö där vi har träffat många trevliga människor, och för en av oss även blivande kollegor. Arbetet har skrivits tillsammans med avdelningen för Teknisk Vattenresurslära vid Lunds Universitet under vårterminen 2017.

Vi vill tacka handledare Rolf Larsson på TVRL för din värdefulla input i rapporten och framförallt handledare Gunnar Svensson för att du tog dig tiden att vara vår handledare på Tyréns och för ditt tålamod att lära oss hur MIKE 21 fungerar. Vi vill tacka Sven Bengtsson, Sofia Augustsson och alla medarbetare på NSVA för att ni gjorde detta examensarbete möjligt för oss. Ett stort tack även till Niklas Ögren och Oscar Gustavsson på Bjuvs Kommun för ert engagemang. Vi vill tacka Måns och Moa för härligt lunchsällskap. Vi vill tacka Kalle för att du höll en av oss i form under denna termin, Ingemar för att du tagit dig tid att svara på alla våra frågor och sist men inte minst alla kollegor på Tyréns.

Abstract

The creation of cloudburst-plans has become an increasing part of municipalities work with climate change. They are also valuable to ensure that the economic actions taken by Swedish municipalities and authorities towards flood prevention are used for successful solutions. To screen the consequences of a cloudburst, one can develop an inland flooding model. An overland flow model makes it possible to compute the flow directions and the flood depth during the rainfall, which is otherwise difficult to do in situ. It has been found to be appropriate to use overland flow models as tools to develop flood prevention measures. However, there are many uncertainties in these models.

Bjuv's urban area was hit by heavy floods on June 15, 2016. In this thesis project, a case study is carried out on parts of Bjuv's urban area with focus on cloudburst. In an overland flow model (MIKE 21), flood-sensitive areas are mapped. Actions are then applied in the form of open storm water solutions to investigate their preventive effect. Furthermore, uncertainties that occur in surface runoff modeling and their impact on model performance are highlighted.

The open storm water solutions- swales, flow paths, curbs and submerged green areas, are introduced into the MIKE 21 modeling program, but the level of detail is limited by the two-meter cell resolution. An increased cell resolution would increase the modeling time, which has already reached 16 hours per simulation. The cloud burst used in the model has a duration of 6 hours and a return period of 100 years.

Five focus areas have been established and all consist of enclosed local areas which contributed, among other things, to the great outcome of floods, both in the result of modeling and in reality. The modeling results show that the number of properties affected by inland flooding is reduced by 82% after implementation of open storm water solutions, according to a specified definition of inland flooding. Of the open storm water solutions that have been implemented, most focus has been on *slow diversion* and *combined delay*. Green areas have been used primarily to delay large amounts of water through lowering of the surface, thus preventing water from creating large flooding depths in disadvantaged places. In this way, many properties can be rescued.

When analyzing the overland flow model across Bjuv's urban area, curbs and the creation of open flow paths have proven to be solutions that have helped to protect specific homes from being flooded. When creating action proposals for an area such as Bjuv's urban area, one must relate to the existing environment. Possible flood prevention measures must therefore be created specifically for the place where they will be implemented.

A sensitivity analysis of infiltration set shows that its setup has a major impact on the result. Since it has been difficult to determine the geology the area, it has in turn been difficult to know how to make the setup of the infiltration. This appears to be a recurring problem in overland flow modeling and should therefore be investigated in future studies.

Implementing different actions in overland flow models seems to be an effective way of selecting the actions that do not provide expected impact, and is a way of exploring and mapping how the actions interact with their environment. If it is not carried out in connection with the development of the surface runoff model, there is a high risk that they will not be performed afterwards due to the possible license demand and lack of knowledge of the used software. The evaluation of open storm water solutions in overland flow models probably has a decisive role in the outcome of municipal decision-making.

Sammanfattning

Framtagning av skyfallsplaner har blivit en allt vanligare del i kommuners arbete med klimatanpassning. För att klarlägga konsekvenserna av ett skyfall kan man göra en ytavrinningsmodell. Den är även värdefull för att de ekonomiska insatser som svenska kommuner och myndigheter lägger på översvämningsåtgärder ska användas på framgångsrika lösningar. En ytavrinningsmodell gör det möjligt att beräkna flödesriktningar och översvämningsdjup under förloppet då regnet inträffar, något som annars är svårt att göra på plats. Det har visat sig vara lämpligt att använda ytavrinningsmodeller som verktyg för att ta fram åtgärdsförslag vid förebyggande av översvämningar. Dock förekommer många osäkerheter vid framtagning av dem.

Bjuvs tätort drabbades den 15 juni 2016 av kraftiga översvämningar. I detta examenarbete görs en fallstudie över delar av Bjuvs tätort med fokus på skyfall. I en ytavrinningsmodell (MIKE 21) kartläggs översvämningskänsliga områden. Åtgärder appliceras därefter i form av öppna dagvattenlösningar för att utreda den förebyggande effekten. Vidare belyses osäkerheter som förekommer vid ytavrinningsmodellering och dess inverkan på modellresultatet.

De öppna dagvattenlösningarna; svackdiken, rinnvägar, kantstenar och nedsänkning av grönområden, införs i modelleringsprogrammet MIKE 21, men detaljnivån begränsas av höjddataupplösningen på två meter. En ökad cellupplösning innebär en ökning av modelleringstiden, vilken redan nu har uppgått till 16 timmar per simulering. Skyfallet som används i modellen har varaktighet på 6 timmar och en återkomsttid på 100 år.

Fem fokusområdena har tagits fram och består alla av lokala instängda områden, något som bland annat bidragit till det stora utfallet av översvämningar, både i utfallet av modelleringen och i verkligheten. Modelleringsresultatet visar att antalet marköversvämmade fastigheter reduceras med 82 % efter implementering av öppna dagvattenlösningar, enligt en framtagen definition för marköversvämmning. Av de öppna dagvattenlösningar som har implementerats har mest fokus legat på *trög avledning* och *samlad fördröjning*. Grönområden har använts främst för att fördröja stora mängder vatten genom nedsänkning av ytan och på så sätt hindrat vatten från att skapa stora översvämningsdjup på ofördelaktiga platser. På så sätt har många fastigheter kunnat räddas. Vid analys över avrinningsmodellen över Bjuvs tätort har kantsten och skapandet av rinnvägar visat sig vara lösningar som har hjälpt till att skydda specifika bostäder från att översvämmas. Vid framtagning av åtgärdsförslag för ett område som Bjuvs tätort, är man tvungen att förhålla sig till den befintliga miljön. Möjliga översvämningsförebyggande åtgärder måste därför skapas specifikt utefter den plats som de genomförs på.

En känslighetsanalys över infiltrationens uppsättning i modellen visar att dess uppsättning har stor påverkan på resultatet. Eftersom det har varit svårt att ta reda på geologin i området, har det i sin tur varit svårt att veta hur uppsättningen av infiltrationen ska utföras. Detta tycks vara ett återkommande problem vid skyfallsmodellering och borde därför utredas i framtida studier.

Att implementera åtgärder i skyfallsmodeller tycks vara ett effektivt sätt att selektera bort åtgärder som inte ger förväntad effekt, men är framförallt ett sätt att undersöka och kartlägga hur åtgärder samverkar med sin omgivning. Om det inte utförs i samband med framtagningen av skyfallsmodellen, finns en stor risk att de inte utförs efter p.g.a. den eventuella licens- och kunskapsbristen på de programvaror som används. Troligen har införandet av öppna dagvattenlösningar i ytavrinningsmodeller en avgörande roll i kommuners beslut om vidtagande av åtgärder.

Definitioner

Dagvatten – Ytligt avrinnande regnvatten och smältvatten

Hydrologisk modell – Avrinningsmodell, modell där vattnets väg på och i marken modelleras

Höjdmodell – En modell som beskriver markytans topografi

Infiltration – Inträngande av vätska i poröst eller sprickigt material, t.ex. vattnets inträngande i jord eller berg

Instängt område – Område varifrån dagvatten ytledes inte kan avledas med självfall

Mannings tal – Parameter som beskriver vattendragets och den omgivande markytans råhet i hydrauliska modeller

Perkolation – Långsam rörelse (hos vatten) genom marklager av poröst material under markytan

Råhet – Anger det hydrauliska motståndet (friktionen) i vattendraget, anges vanligen med Mannings tal (ju större motståndet är, desto mer bromsas vattnet upp och vattennivån stiger)

Simulering – Modellering eller beräkning med en modell.

Svackdike – Ett grunt dike som medger avrinning men som även kan tillåta infiltration av dagvatten

Tvådimensionell hydraulisk modell – Utgår från ett rutnät med en tvådimensionell beskrivning av området, används för att beräkna vattennivå, flöde och hastighet i två dimensioner.

Återkomsttid – Tidsintervall (i medeltal, sett över en längre tidsperiod) mellan regn- eller avrinningstillfällena för viss given intensitet och varaktighet.

Innehållsförteckning

Förord.....	iii
Abstract	v
Sammanfattning.....	vii
Definitioner.....	ix
1 Introduktion.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Metod	2
1.4 Avgränsningar.....	3
2 Litteraturstudie.....	5
2.1 Historik: VA-systemets utveckling i Sverige	5
2.2 Översvämningar och efterföljande åtgärder i Sverige	5
2.3 Ökad hållbar dagvattenhantering i befintliga områden.....	7
2.4 Rekommenderad dagvattenhantering	7
2.5 Öppna dagvattenlösningar	9
2.6 Ansvarsområden.....	10
2.7 Skyfall och återkomsttid	12
2.8 Semi-urbana och icke-urbana områden.....	14
3 Fallstudie: Bjuvs tätort.....	17
3.1 Beskrivning	17
3.2 Fysiska egenskaper	17
3.3 Dagvatten- och översvämningshantering i Bjuvs kommun.....	18
3.4 Översvämning i Bjuvs tätort 15 juni 2016	19
3.5 Tidigare utredningar och resultat.....	21
3.6 Analysområde.....	23
4 Teori och Ytavrinningsmodellering i MIKE 21	25
4.1 Programvaror	25
4.2 Grundläggande teori	25
4.3 Modellupsättning	30
4.4 Begränsningar i modellen.....	40
4.5 Applicerade öppna dagvattenlösningar i MIKE 21	41
5 Resultat.....	43

5.1	Metoder för att analysera översvämningsutfall.....	43
5.2	Känslighetsanalys	44
5.3	Resultat för ytavrinningsmodellering över Bjuvs tätort	47
6	Diskussion	61
6.1	Resultat.....	61
6.2	Osäkerheter, brister och förbättringsmöjligheter i modellen.....	64
6.3	Översvämningshantering och skyfallsplanering ur ett samhällsperspektiv	68
6.4	Framtida studier	68
7	Slutsats	71
8	Referenser	73

Bilaga A: Sammanfattande modelluppsättning

Bilaga B: Fokusområde 1, 4 och 5

Figurförteckning

Figur 1 Metod för examensarbete	2
Figur 2 Illustration av fyra kategorier av öppna dagvattenlösningar (Stahre, P, 2004).	8
Figur 3 – En illustration av en sannolikhetsackumulering för fyra olika återkomsttider, 5-, 25-, 50- och 100 år.....	12
Figur 4 DEM över Bjuvs tätort där de mörka delarna representerar högre belägen terräng och de ljusa delarna lägre belägen terräng.	17
Figur 5 Uppmätta nederbördsmängder från klockan 14-19 i översvämningsdrabbade områden vid skyfallet den 15 juni 2016 enligt uppgifter från NSVA (2016).....	20
Figur 6 Intensitetsbeskrivning över den uppmätta nederbörden i Ekebro 15 juni 2016, mm/h. Volym 67 mm och ca 5 h varaktighet (Tyréns, 2016).	20
Figur 7 CDS-regn med 10 årsåterkomsttid och 60 minuters varaktighet (Tyréns, 2016).....	21
Figur 8 Dagvattenbrunnar som enligt beräkning drabbas av marköversvämning i Bjuvs tätort vid ett regn med 10 års återkomsttid och 60 minuters varaktighet (Tyréns, 2016).	22
Figur 9 Dagvattenbrunnar som enligt beräkning drabbas av marköversvämning i Bjuvs tätort för uppmätt regntillfälle 15 juni 2016 (Tyréns, 2016).....	23
Figur 10 Område i Bjuvs tätort som analyseras i ytavrinningsmodell i denna rapport.....	24
Figur 11 Metod för framtagning av modelleringsresultat.....	30
Figur 12- Illustration av hur interpoleringar har utförts i modellen. De röda rutorna symboliserar cellerna i MIKE 21 och cirkeln i mitten symboliserar cellens mittpunkt.	32
Figur 13 – Figuren illustrerar CDS-regnet som simuleras över grönområdena i Bjuvs tätort.	34
Figur 14 - Figuren illustrerar CDS-regnet som simuleras över de hårdgjorda ytorna i Bjuvs tätort. Den blå delen bidrar till ytavrinning medan den svarta delen illustrerar ledningsnätsavdraget.	35
Figur 15 - Illustration av infiltrationsuppsättningen i MIKE 21	37
Figur 16 Kartering över genomsläpplighetsförmågan i Bjuvs tätort enligt SGU. (SGU, u.d.)	38
Figur 17 Modelleringsområde, analysområde och fokusområde för Bjuvs tätort.....	47
Figur 18 Fokusområde 2 över Bjuvs tätort.....	49
Figur 19 Maxkarterat översvämningsdjup före åtgärder för fokusområde 2	50
Figur 20 Implementerade öppna dagvattenlösningar för fokusområde 2.....	51
Figur 21 Maxkarterat översvämningsdjup efter åtgärder för fokusområde 2	52
Figur 22 Översvämningsdjup och flödesvektorer 41 minuter efter regnets start före åtgärder för fokusområde 2.....	53
Figur 23 Översvämningsdjup och flödesvektorer 41 minuter efter regnets start efter åtgärder för fokusområde 2.....	53
Figur 24 Fokusområde 3 över Bjuvs tätort.....	54
Figur 25 Maxkarterat översvämningsdjup före åtgärder för fokusområde 3.	55
Figur 26 Implementerade öppna dagvattenlösningar för fokusområde 3.....	56
Figur 27 Maxkarterat översvämningsdjup efter åtgärder för fokusområde 3	57
Figur 28 Översvämningsdjup och flödesvektorer 41 minuter efter regnets start före åtgärder för fokusområde 3.....	58
Figur 29 Översvämningsdjup och flödesvektorer 41 minuter efter regnets start efter åtgärder för fokusområde 3.....	58

Tabellförteckning

Tabell 1 Exempel på tekniska lösningen som kan implementeras i de fyra definierade kategorierna för dagvattenhantering. (Stahre, 2008)	9
Tabell 2 Minimikraven angivna i (Svenskt Vatten, 2016) för återkomsttider för regn vid dimensionering av nya dagvattensystem för olika typer av bebyggelseområden.....	11
Tabell 3 – Värden på de största uppmätta dygnsnederbördsvärdena i Sverige de senaste 100 åren (MSB, 2012).	13
Tabell 4 Atterbergs korngruppsskala (Adriellsson, et al., 1981).	26
Tabell 5 – Permeabilitetsvärden för ett antal jordarter och kornfördelningar (Fagerström & Wiesel, 1972).....	38
Tabell 6 Infiltrationsuppsättning för känslighetsanalys över Bjuvs tätort.	45
Tabell 7 Resultat för infiltrationsanalys över Bjuvs tätort; översvämmade fastigheter enligt framtagen definition samt volymprocent infiltration av totalnederbörd.....	45
Tabell 8 Antalet fastigheter som drabbas av marköversvämning i Bjuvs tätort enligt framtagen definition samt nederbörd efter ledningsnätsavdrag för ett 100- och ett 200-årsregn	46
Tabell 9 Antalet fastigheter som drabbas av marköversvämning i Bjuvs tätort enligt framtagen definition samt nederbörd efter ledningsnätsavdrag för nollalternativ och när ingen avvattning sker från bostadshus.	46
Tabell 10 Antalet fastigheter som drabbas av marköversvämning i Bjuvs tätort enligt framtagen definition för modelleringsfall ledningsnätet är dimensionerat för ett 5-årsregn och ett 10-årsregn, respektive.	47
Tabell 11 Sammanställt resultat för antal översvämmade fastigheter före och efter att öppna dagvattenlösningar har implementerats för hela analysområdet	48
Tabell 12 Sammanställt resultat för antal översvämmade fastigheter före och efter åtgärder för fokusområde 2.	54
Tabell 13 Sammanställt resultat för antal översvämmade fastigheter före och efter åtgärder för fokusområde 3.	59

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

För att bedriva en god samhällsutveckling krävs en kartläggning av var man ska rikta insatserna för översvämningsförebyggning. Detta kan göras genom simulering för att utreda och visualisera vilka områden som kommer att riskera att stå under vatten. Utredningen är användbar i områden som förväntas exploateras eller områden med befintlig bebyggelse.

Under den 15 juni 2016 föll ett kraftigt regn över Bjuv som resulterade i att 340 översvämningsanmälningar inkom från Bjuvs tätort och Gunnarstorp. Tyréns (2016) har genomfört kapacitetsberäkningar och fastslagit att större delen av dagvattensystemet i Bjuv i dagsläget är underdimensionerat enligt branschkraven som ställs av Svenskt Vatten. Många av de översvämningsdrabbade fastigheterna fick inläckage av dagvatten från markytan medan andra fastigheter drabbades av källaröversvämnings som inträffade genom uppdamning från toaletter och golvbrunnar.

Områden runt mindre tätorter är oftast semi- eller icke-urbana, något som skapar möjligheter till lösningsförslag som annars inte kan skapas för tätbebyggda, urbana områden. Tillgängligheten till semi-urbana områden är något som kan tänkas nyttiggöras och ses som en tillgång och fördel i förebyggande av översvämnings. Alla kommuner besitter troligen inte resurser att själva utvärdera lösningsförslag och denna rapport kan ge vägvisning och exempel på sådana.

1.2 Syfte

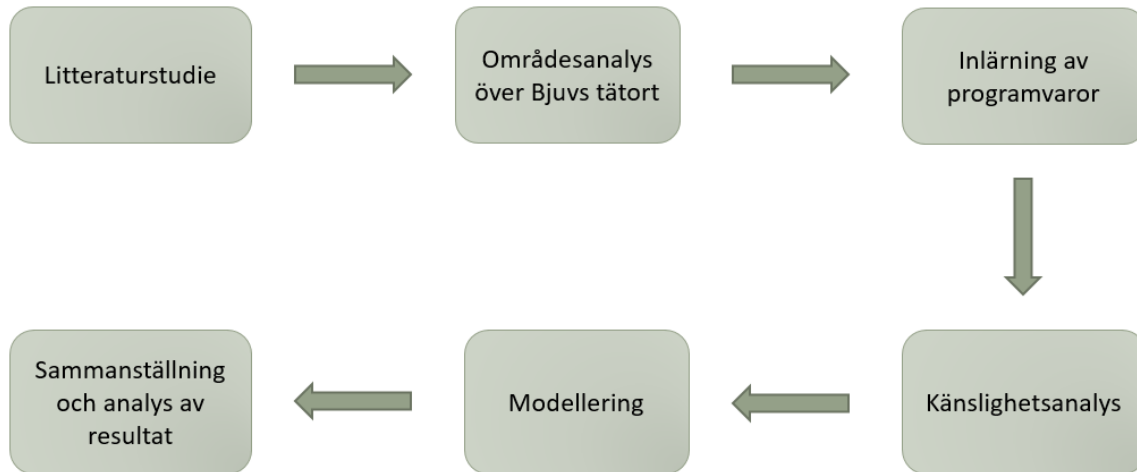
Syftet med examensarbetet är att utreda lämpligheten av att använda ytavrinningsmodellering som verktyg för att ta fram åtgärdsförslag vid förebyggande av översvämnings i semi-urbana områden. Rapporten avser även att belysa osäkerheter och felkällor som förekommer vid ytavrinningsmodellering och dess inverkan på modellresultatet. En fallstudie görs över Bjuvs tätort.

Följande frågeställningar ligger till grund för denna rapport:

- Var finns översvämningskänsliga områden i Bjuvs tätort?
- Kan översvämningsrisken i Bjuvs tätort minskas genom införande av öppna dagvattenlösningar? Om så är fallet, hur kan det utföras?
- Är införande av öppna dagvattenlösningar i en ytavrinningsmodell en bra metod för att ta fram översvämningsförebyggande åtgärder?
- Vilka osäkerheter förekommer i en ytavrinningsmodell och vilken inverkan har de på resultatet?

1.3 Metod

I följande avsnitt beskrivs den metod som använts för att genomföra detta examensarbete. Metoden består av 6 delmoment (se Figur 1) som presenteras nedan: litteraturstudie, områdesanalys över Bjuvs tätort, inläring av programvaror, sammanställning av resultat, modellering samt känslighetsanalys.



Figur 1 Metod för examensarbete

1.3.1 Litteraturstudie

En mindre litteraturstudie har genomförts med fokus att belysa bland annat Svenskt Vattens rekommendationer och befintliga öppna dagvattenlösningar som tidigare har applicerats i semiurbana områden. Denna litteraturstudie ligger till grund för möjliga åtgärdsförslag som kan appliceras i Bjuvs tätort.

1.3.2 Områdesanalys över Bjuvs tätort

Ett analysområde har valts i Bjuvs tätort, se Figur 10. Detta område har valts ut dels för att det drabbades hårt av skyfallet 15 juni 2016 och dels för att de innehåller olika områdestyper. Med hjälp av modelleringsprogrammet MIKE 21 från DHI har åtgärdsförslag applicerats och utvärderats i en ytavrinningsmodell.

1.3.3 Inläring av programvaror

För att hantera data och göra en ytavrinningsmodell har tid lags ner på inläring av modelleringsprogrammet MIKE 21 och samt databehandlingsprogrammet FME.

1.3.4 Känslighetsanalys

För att undersöka ytavrinningsmodellens känslighet, har en rad känslighetsanalyser utförts. Några av dessa analyser har fått ligga till grund för framtagningen av modellens uppbyggnad. Följande känslighetsanalyser har genomförts:

- Skyfallsanalys
- Infiltrationsanalys
- Avvattningsanalys (från privat mark)
- Ledningsnätsanalys

I skyfallsanalysen har utfallen av ett 100- och ett 200-årsregn över studieområdet jämförts. I infiltrationsanalysen har utfallet av 4 stycken olika infiltrationsmoduler jämförts, med varierade

infiltrations- och perkolationsvärden. I avvattningsanalysen har effekten av en minskad avvattning från hustak från privat mark undersökts. Slutligen i ledningsanalysen, har undersökningar om hur ytavrinningen för ett 100-årsregn blir, och vilka följder det har, när ett ledningsnätsavdrag som motsvarar kapaciteten för ett 5års- respektive 10-årsregn utförts.

1.3.5 Modellering i MIKE 21

Med hjälp av MIKE 21 har lösningsförslag med syfte att förebygga framtida översvämningar simulerats och utvärderats för en modell i Bjuv. Fokus har legat på skyfall och hur man kan reducera skador som uppstår.

De öppna dagvattenlösningar som valts ut för att implementeras i MIKE 21 är grundade på tre kriterier, dessa är:

1. Framtagna i litteraturstudier som implementerbara öppna dagvattenlösningar
2. Applicerbara i MIKE 21
3. Av intresse för VA-huvudman NSVA och Bjuvs kommun

1.4 Avgränsningar

En rad avgränsningar har gjorts för att minska omfattningen av ytavrinningsmodelleringen. I följande avsnitt redogörs för dessa. Begränsningar i modellen som gjorts i MIKE 21 redogörs för i avsnitt 4.4.

En stor del av Bjuvs tätort drabbades av översvämning den 15 juni 2016. I detta examensarbete har området begränsats till ett analysområde där implementationer gjorts i MIKE 21, detta har motiverats och redogjorts för i avsnitt 3.6.

Eftersom fokus lagts på skyfall har analyser begränsats till att enbart utföras i MIKE 21. Detta innebär att ledningsnätet inte är inkluderat i modellen, men att dess kapacitet schablonmässigt har dragits av från det regn som simulerats. Utfallen av analyserna har behandlats i ESRI ArcGIS och FME.

När det gäller det regn som har applicerats i modellen, har examensarbetet begränsats till att enbart simulera ett definierat 100-årsregn. Utöver detta har även känslighetsanalyser där 100-årsregnet jämförs med ett 200-årsregn utförts.

Ingen vikt har lagts på kostnadsmissiga jämförelser, inga nyckeltal har använts för att jämföra effektiviteten mellan olika lösningar.

Modelluppbyggnaden och de antaganden som har gjorts har baserats på tillvägagångssätt som tillämpas i MIKE21 och i Sverige. Inget fokus har lagts på andra programvaror eller på hur tillämpningar i andra länder görs.

2 Litteraturstudie

2.1 Historik: VA-systemets utveckling i Sverige

Fram tills 50-talet bestod majoriteten av avloppssystemet i samhällen av kombinerade ledningsnät. Separatsystem, där dagvatten inte är påkopplade till spillvattenledning var under tidigt 1900-tal förekommande i utkanten av städer. För att minska antalet översvämningar inne i stadskärnan där kombinerade ledningsnät dominerar anlade man bräddutlopp ut till recipienten. Under 50-talet började man anlägga duplikatsystem, då var det vanligt att man anslöt dräneringsvatten från fastigheter till spillvattenledningen. Med tiden växte insikten att dräneringsvatten inte behöver anslutas till spillvattenledningen och under 90-talet togs rekommendationer fram att man ska utforma ett ledningssystem där uppdamning till grundmuren motverkas genom att dräneringsvatten pumpas till dagvattenledning (Svenskt Vatten, 2016).

För 200 år sedan bodde enligt (DAHL, u.d.) 90 procent av den svenska befolkningen på landsbygden, detta är jämföra med dagens 85 procent som bor i tätorter. Då urbaniseringsgraden ökar, ökar även ytavrinningen som måste omhändertas.

När miljonprogrammet växte fram på 60-talet började städer och förorter i Sverige kraftigt växa, likaså fokus och kraven på avlopps- och dagvattennätet. Många av de äldre systemen klarade inte av den nya belastningen och översvämningar blev mer frekventa som följd av detta. Även idag finns samma problematik, där kraftiga utbyggnader har skett som i sin tur ställt högre krav på ett redan hårt belastat ledningsnät (DAHL, u.d.).

Fram tills 1970-talet handlade dagvattenhanteringen om kvantitet vilket idag ses som den traditionella dagvattenplaneringen. Fokus lades på att avleda dagvatten så snabbt som möjligt ut till recipienten. Under senare delen av 70-talet började det diskuteras mer kring föroreningar i dagvatten. Föroreningshalter som släpps ut i recipienter har blivit en stor del i debatten om hur dagvatten hanteras idag. I samband med att begreppet hållbar utveckling introducerades i slutet på 90-talet har även den sociala dimensionen, när det gäller gestaltning i samband med dagvattenhantering i urbana miljöer, fått stort fokus (Svenskt Vatten, 2016).

Under 90-talet började många kommuner som en alternativ lösning till underdimensionerade ledningssystem att bygga fördröjande åtgärder för tillförsel av dagvatten (Stahre, P, 2004). I Figur 2 illustreras hur långsiktig hållbar dagvattenhantering schematisk har utvecklats (Stahre, 2008).

2.2 Översvämningar och efterföljande åtgärder i Sverige

Nedan beskrivs de översvämningarna som har inträffat i 3 mindre samhällen, nämligen Säffle, Vellinge och Hallsberg, alla med ett invånarantal liknande det i Bjuv. Samhällena har alla drabbats minst en gång av ett skyfall som orsakat skada på ett flertal fastigheter. Det tillvägagångssätt de 3 drabbade kommunerna har valt att efter det att översvämningarna har skett skiljer sig åt ifrån varandra. Vad de har gemensamt är att de alla har utfört åtgärder som ska minska risken att utsättas för samma scenario igen.

2.2.1 Säffle

Den 11 juli 2009 föll det 120 mm över Säffle efter att det tidigare hade regnat under en veckas tid. Säffles ledningsnät bestod under tidpunkten som regnet inträffade av 20 procent kombinerat ledningsnät. Länsförsäkringar som endast var försäkringsbolag för 10 procent av de drabbade fastigheterna i regionen fick in totalt 41 skadeanmälningar. Endast 8 av dessa ledde till utbetalningar då de andra inte ansågs uppfylla försäkringsvillkoren. Många översvämningar orsakades av felkopplad dränering och inläckage genom rökkanaler (MSB, 2010)

I Säffle pågår ett nytt upprättande av såväl VA-plan som skyfallsplan. Skyfallsplanen kommer att innehålla en sårbarhetsanalys för olika områden och en handlingsplan som ska verka övergripande. Handlingsplanen kommer även att bestå av specifika åtgärdsförslag för att minska sårbarheten i de riskområdena som upptäcks. Skyfallsplanen kommer att utgöra en viktig del av underlaget till Åmål kommuns översiktsplan (Åmåls kommun, 2017).

2.2.2 Vellinge

Kommunen har drabbats av kraftiga regn under ett flertal tillfällen, senast 2007, 2010 och 2014. De speciella topografiska förhållandena i Vellinge kommun gör att bebyggelsen ligger utsatt för översvämningrisk. Grundvattenytan är högt belägen medan bebyggelsen är lågt placerad och 1800 hus ligger enligt MSB (2015) belägna på en nivå under 2 meter över havet. Översvämningen 2014 orsakades av ett regn som uppmätte 168 mm på ett dygn vilket orsakade totalt 280 översvämningar.

Vellinge kommun har som mål att se till att inga liknande händelser inträffar igen och påbörjade därför ett modelleringsarbete 2010. I början av 2015 påbörjades utredningar om hur öppna dagvattenlösningar kan påverka dagvattenavrinningen. Kommunens ambition är att kunna rädda alla hus vid inträffande av extrema regn. Vellinge kommun anser att det finns behov av råd, anvisningar och vägledning från högre organ. (MSB, 2015).

2.2.3 Hallsberg

Hallsberg drabbades av ett skyfall som uppmätte 112 mm och pågick mellan den 5–6 september 2015. I Hallsberg med omkringliggande orter, drabbades 400 hushåll av översvämningar, och av dessa så evakuerades cirka 80 stycken. Försäkringbolaget som har omkring 30 % av marknaden i Hallsberg sägs ha betalat ut 25 miljoner för skador av bostadshus.

Efter det att översvämningarna inträffade, tog Hallsberg, tillsammans med den intilliggande kommunen Kumla, initiativet att starta en översvämning- och skyfallskartering för tätorterna och det avrinningsområde vilket de båda delar. Hallsbergs kommun har även tagit fram en ny kris- och beredskapsplan samt en ny kriskommunikationsplan för brandkåren för att stå redo om ett liknande scenario inträffar igen (Länsstyrelsen i Örebro län, 2016)

2.3 Ökad hållbar dagvattenhantering i befintliga områden

Svenskt vatten (2011a) tar i publikation P105 upp att kreativa lösningar för hantering av dagvatten är ett krav i områden med ett befintligt dagvattensystem. Åtgärderna har grupperats i sju punkter (Svenskt Vatten, 2011a):

- *Bortkoppling av stuprör*
- *Översyn av anslutningar*
- *Strykning av intag till dagvattenledning*
- *Borttagning av kantsten och ändrad höjdsättning*
- *Anläggning av infiltrationsstråk*
- *Öppen dagvattenkanal istället för kulvert*
- *Rekonditionering av befintliga träd*

Ahlman (2011) har för Svenskt Vatten Utveckling tagit fram Plan B-åtgärder för att eliminera konsekvenser av översvämningar i tätorter:

- *Avledning på ytan via gator och vägar*
- *Sekundära ledningar/kanaler för att avlasta instängda områden.*
- *Styrning av flöden till "ofarliga" delar av avrinningsområdet.*
- *Fördröjning på ytan för att temporärt hålla nere trycklinjen*

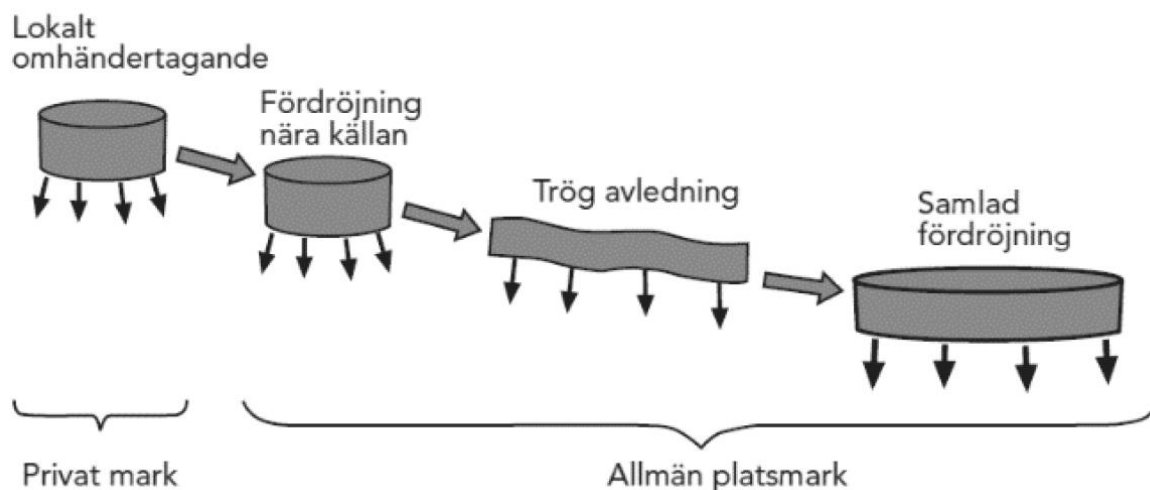
Ahlman (2011) tar upp problemet kring att ta fram åtgärder som är mest lämpade för ett specifikt område. Det nämns att det dels beror på att de mest lämpade åtgärderna skiljer sig från område till område, men även att det beror på till vilken grad man vill minska konsekvenserna av ett skyfall. När man ska ta fram åtgärder prioriteras samhällsviktiga funktioner.

2.4 Rekommenderad dagvattenhantering

Kostnaderna som orsakas av översvämningar beror på de fysikaliska aspekterna så som kapaciteten på ledningsnätet, återkomsttid och vattennivå. Ledningsnätskapaciteten kan ökas men det är inte ekonomiskt försvarbart att bygga ut ledningsnäten så att det kan omhänderta de mest extrema regntillfällena (WeiFeng, et al., 2009). Därmed måste lösningar ovan mark också implementeras om översvämningar ska förebyggas på ett effektivt sätt.

När man talar om hållbar öppen dagvattenhantering talar man idag om fyra kategorier som beskriver hur dagvatten ska tas hand om från där regnet landar ända ut till recipienten (Svenskt Vatten, 2011a). Syftet är att man genom processer så som infiltration, perkolation, ytavrinning och trög avledning efterliknar naturens eget sätt att ta hand om dagvatten (Stahre, P, 2004).

1. Lokalt omhändertagande
2. Fördröjning nära källan
3. Trög avledning
4. Samlad fördröjning



Figur 2 Illustration av fyra kategorier av öppna dagvattenlösningar (Stahre, P, 2004).

Figur 2 visar hur de fyra kategorierna för öppna dagvattenlösningar står i relation till varandra från källa till recipient. Stahre (2004) har för Svenskt Vatten definierat de fyra kategorierna för öppna dagvattenlösningar. *Lokalt omhändertagande av dagvatten* innebär att man vidtar och implementerar tekniska åtgärder för att omhänderta dagvatten för att fördröja samt minska avrinning från privat mark innan det ansluter till det allmänna dagvattensystemet. *Fördröjning av dagvatten nära källan* avser implementationer för att fördröja och minska avrinning i det allmänna dagvattensystemets övre delar. *Trög avledning av dagvatten* avser avledningssystem som på allmän platsmark ska transportera dagvatten långsamt från avrinningsområdets övre delar. *Samlad fördröjning av dagvatten* innebär åtgärder som fördröjer eller minskar avrinning från större avrinningsområden.

Stahre (2004) har sammanställt möjliga tekniska åtgärder som kan implementeras för att hantera dagvatten under respektive kategori, se Tabell 1. Teknisk utformning för utvalda implementationer redovisas i kommande avsnitt 2.5.

Tabell 1 Exempel på tekniska lösningen som kan implementeras i de fyra definierade kategorierna för dagvattenhantering. (Stahre, 2008)

Kategori	Exempel på teknisk utformning
Lokalt omhändertagande (privat mark)	<ul style="list-style-type: none"> • Gröna tak • Infiltration på gräsytor • Genomsläppliga beläggningar • Infiltration och fördröjning i gräs-, grus- och makadamfyllningar. • Perkolation • Dammar • Uppsamling av takvatten
Fördröjning nära källan (allmän platsmark)	<ul style="list-style-type: none"> • Genomsläppliga beläggningar • Infiltration på gräsytor • Infiltration och fördröjning i gräs-, grus- och makadamfyllningar. • Tillfällig uppdamning av dagvatten på speciellt anlagda översvämningssytor • Diken • Dammar • Våtmarker
Trög avdelning (allmän platsmark)	<ul style="list-style-type: none"> • Svackdiken • Kanaler • Bäckar och diken
Samlad fördröjning (allmän platsmark)	<ul style="list-style-type: none"> • Dammar • Våtmarksområden

2.5 Öppna dagvattenlösningar

I följande avsnitt redogörs för dammar, diken och svackdiken som öppna dagvattenlösningar. Att endast dessa lösningar beskrivs är för att de används i fallstudien som åtgärder i avrinningsmodellen.

2.5.1 Dammar

Dammar används både till att fördröja och rena dagvatten och ingår som öppen dagvattenlösning under kategori 2. *Fördröjning nära källan* samt 4. *Samlad fördröjning*, se Tabell 1 (Svenskt Vatten, 2011a). När man använder ordet damm som begrepp kan man syfta till olika typer när det gäller utformning och anläggning. I Svenskt Vattens publikation P105 (2011) delar man in dagvattendammar i dammar i parkområden och dammar för samlad fördröjning. En damm kan både vara torr och våt (Viklander & Bäckström, 2008). Den typ av damm som visat störst intresse i Sverige är den våta dammen. Denna typ av damm är alltid vattenfylld (Viklander & Bäckström, 2008). Det finns även dammar som är tomma under torrväder, men som under intensiva regn fylls och då utjämnar stora flöden i dagvattensystemet. Den torra dammen kan i kalla klimat fungera som yta för snölagring. Smältvattenvolymer kan dock ställa till det under snösmältning (Viklander & Bäckström, 2008). Det har uppskattats att det finns omkring 1000 anlagda dammar i Sveriges kommuner (Falk, 2007). Huvudsyftet med dessa dammar har varit att utjämna flöden för att minska belastning på

dagvattensystemet, men i andra fall även för att reducera föroreningar som dagvattnet för med sig (ibid.).

Jan Falk (2007) har i en SVU rapport *Erfarenheter av kommunala Dagvattendammar* jämfört nio stycken dammar som ansetts vara relativt nya, väletablerade och som ingått i ett kontrollprogram med dokumentation och uppföljning. Falk diskuterar problematiken med att jämföra ett dagvattensystem med dagvattendammar med ett konventionellt system. Att leda dagvatten i ledningar ut i recipienten är billigare än ett dagvattensystem där dagvattendammar är integrerat. Om man istället ser att recipienten är känslig och att dagvatten behöver renas innan det leds ut, är dagvattendammar billigare än att behandla dagvattnet konventionellt med behandling likt ett reningsverk. Har man en recipient som är känslig för erosion är en dagvattendamm ett sätt att reducera höga flödestoppar vid stora regn. Falk (2007) belyser att den stora fördelen är att ett dagvattensystem med dagvattendammar är bättre rustad när det gäller att möta framtida klimatförändringar, då främst ökad nederbörd. I monetära termer är detta dock svårt att jämföra.

Thomas Larm har i rapporten *Utformning och dimensionerings av dagvattenreningsanläggningar* från år 2000 sammanställt värden för rekommenderade tekniska faktorer vid utformning och dimensionering av våta dammar, öppna diken och svackdiken. Larm (2000) rekommenderar för dammar ett vattendjup på mellan 1.2 - 3.5 m, en släntlutning på mellan 1.2 - 1:10 och en minsta area på 150 m².

2.5.2 Diken och svackdiken

Diken och svackdiken ingår i kategori 3. *Fördröjnings nära källan* och 4. *Trög avledning*. Svackdiken kan även implementeras på privat mark inom t.ex. stora fastigheter så som industrier och flerbostadsområden. Svackdiken och öppna diken har svag respektive relativt kraftig släntlutning (Larm, 2000). Svackdiken är en grundläggande implementation av öppen dagvattenhantering där maxflöden reduceras och där vatten delvis kan infiltreras (Blecken, 2016). Svackdiken anläggs ofta i kombination med översilningsytor längs med vägar, detta för att avleda dagvatten och minska avrinning (ibid.). Det är viktigt att se över rinnvägar till svackdiken och hur de höjsätts (ibid.). Kupolbrunnar brukar installeras när dagvattnet ska ledas vidare från svackdiket till ledningssystemet (ibid.). Larm (2000) rekommenderar för diken och svackdiken en bottenbredd på 0.5 - 3.0 m, en minsta längd på 60 m och en längslutning på 0.5 - 6 % för diken och 0.2 - 1 % för svackdiken.

Kalla klimat har visat försämrade upptagningsförmåga när det gäller att ta upp föroreningar i dagvatten i gräsbevuxna svackdiken. Infiltrationen försämras även kraftigt under vinterförhållanden och risk för erosion ökar. Positiva aspekter med svackdiken under vintersäsong är att det kan fungera som ytor för att lagra snö, således kan snösmältning avledas i svackdiket. (Viklander & Bäckström, 2008)

2.6 Ansvarsområden

Det är viktigt att tydliggöra vem det är som bär ansvar vid olika återkomsttid på regn då skador inträffar. Ansvarsfördelningen och finansieringen mellan olika förvaltningar har visats sig vara ett problem för många kommuner, och en anledning till att kommuner inte har beställt utredningar. De ekonomiska förutsättningarna har även varit en begränsande faktor för det bristande antal beställningar av utredningar som gjorts. Främst de kostnaderna som implementationerna av åtgärderna skulle kräva (MSB, 2015).

I de intervjuer som MSB (2015) förde med DHI framgick det att DHI önskade att en tydlig riktlinje skulle införskaffas. En riktlinje kunde tänkas innehålla tillvägagångssätt och uppgifter om vilka utredningar som bör utföras. DHI menar att Svenskt Vatten bär ett stort ansvar om riktlinjer ska införskaffas, eventuellt även länsstyrelsen. Eftersom höjdförhållandena inom ett avrinningsområde ändrats då byggnationer genomförts ska Boverket ange i riktlinjer att modelleringar bör utföras, tycker DHI. Likaså för områden som ska exploateras.

I Sverige saknas det en nationell handlingsplan och gemensam strategi för klimatförändringar. Ingen av de 30-tal centrala myndigheter som arbetar med att tillhandahålla strategier har något överordnat ansvar för att ta fram anpassningsåtgärder. Länsstyrelserna har i uppdrag att samordna arbetet på regional nivå och huvudansvaret för att genomföra åtgärder ligger hos enskilda fastighetsägare och landets kommuner (Svensk Försäkring, 2015). För att skapa effektiva lösningar för att skapa ett mot översvämningar motståndskraftigt samhälle krävs ett nära samarbete mellan de olika samhällsfunktionerna VA, gata, park, miljö och bygglov (Svenskt Vatten, 2016).

2.6.1 Ansvarsuppdelning

Gränsdragningen mellan allmänna och privata avloppsledningar

Från bostaden fram till förbindelsepunkten står fastighetsägaren som ansvarig för servisledningarna. Utanför förbindelsepunkten så ansvarar kommunen eller alternativt ett kommunalt bolag. Den juridiska ansvarsgränsen mellan fastighetsägare och huvudmannen går alltså i förbindelsepunkten. Normalt är förbindelsepunkten benägen 0.5 meter utanför tomtgränsen. (Svenskt Vatten, 2016)

Ansvarig för gatans avvattning

Väghållaren står som ansvarig för gatans avvattning, underhåll av dagvattenbrunnar och servisledningarna. För majoriteten av vägsträckor inom samhällen är gatukontoret väghållare.

Dagvattenledning

VA-organisationerna står som ansvariga för drift och utformning av dagvattenledningar tills det att dagvattnets trycknivå når markytan. Enligt utslag som gjorts i statens VA-nämnd, krävs det att VA:s dagvattenanläggningar är dimensionerade för 10 års återkomsttid, med en viss osäkerhetsmarginal inräknad, för gles bostadsbebyggelse (Svenskt Vatten, 2016). För andra bostadsstrukturer gäller andra återkomsttider, dessa hittas i Tabell 2.

Tabell 2 Minimikraven angivna i (Svenskt Vatten, 2016) för återkomsttider för regn vid dimensionering av nya dagvattensystem för olika typer av bebyggelseområden.

Nya duplikatsystem	VA- huvudmannens ansvar		Kommunens ansvar
	Återkomsttid för regn vid fylld ledning	Återkomsttid för trycklinje i marknivå	Återkomsttid för marköversvämning med skador på byggnader
Gles bostadsbebyggelse	2	10	>100 år
Tät bostadsbebyggelse	5	20	>100 år
Centrum- och affärsområden	10	30	>100 år

Markavvattningsanläggningar (Dikningsföretag)

När exploatering av områden som berörs av markavvattningsanläggningar görs, måste hänsyn tas till dessa. Dagvatten från allmänna VA-anläggningar kan ledas ut i markavvattningsanläggningarna men ofta är de inte dimensionerade för det nya flödet och bör då modifieras för en kapacitetsökning. Villkoren för bl.a. framtida skötsel och ändrade villkor samt kostnadsfördelning för anläggningsarbeten kan behöva omprövas. Om detta gör är det i mark- och miljödomstolen som omprövning sker (Jordbruksverket, 2013).

2.7 Skyfall och återkomsttid

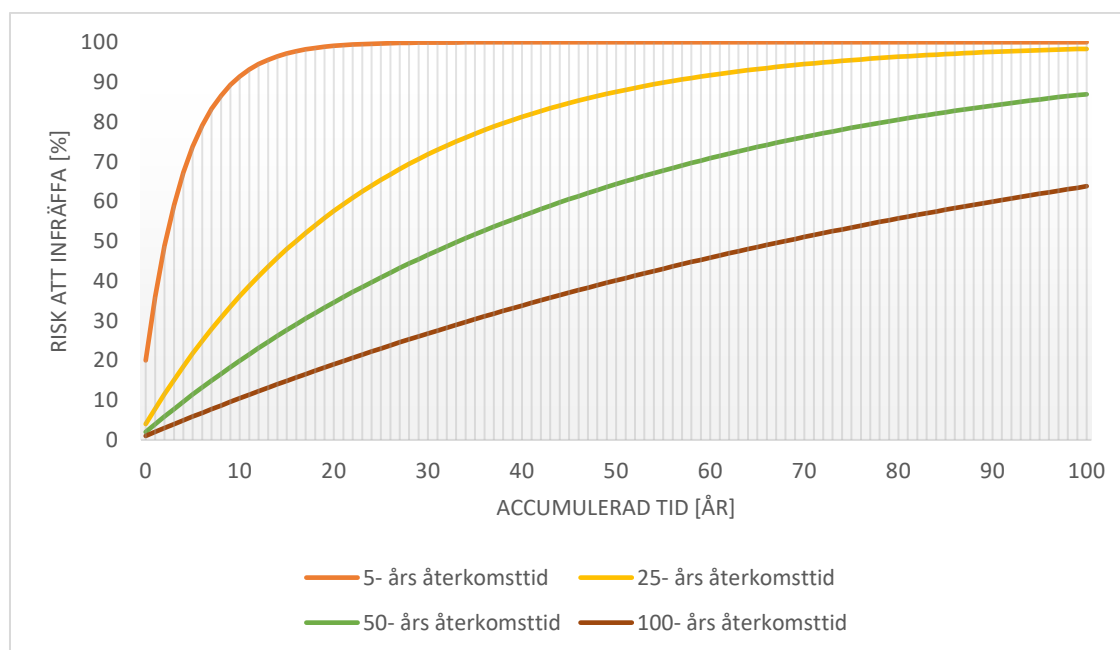
2.7.1 Skyfall

När man talar om skyfall syftar man till en stor mängd nederbörd som faller på en kort tid. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, SMHI har definierat skyfall som en nederbörd av minst 50 mm på en timme eller minst 1 mm på en minut (SMHI, 2011). En stor majoritet av alla skyfall i Sverige inträffar under sommaren (SMHI, 2011), det är vanligast att nederbörden sker under eftermiddagen, skuraktiviteten är då som högst (SMHI, 2013). När det gäller sommarskurar har SMHI rapporterat att de är svåra att förutse i prognoserna när det gäller var geografiskt de kommer landa (SMHI, 2014).

2.7.2 Återkomsttid

Med återkomsttid menas det tidsintervall som det i genomsnitt tar för ett regn med en viss intensitet och varaktighet att inträffa. Exempelvis betyder ett 100-årsregn att regnet har en sannolikhet att inträffa en gång vart hundra år, eller 1 % sannolikhet för ett godtyckligt år. Men sannolikhetsackumulering sker över tid, illustrerat i Figur 3.

Svenskt Vatten (2011a) föreslår i publikation P105 att när dagvattenlösningar dimensioneras, ska de göra det så att byggnader inte kommer till skada vid ett regn med 100-års återkomsttid. Det innebär att planering för tillskottsvattnet från anläggningar som dimensioneras för kortare återkomsttider än 100 år måste göras (Svenskt Vatten, 2011a).



Figur 3 – En illustration av en sannolikhetsackumulering för fyra olika återkomsttider, 5-, 25-, 50- och 100 år

Eftersom nederbördsstatistiken är begränsad är det svårt att bestämma ett värde för ett regn med lång återkomsttid. Det finns även kritiska fall då nederbördsrelaterade parametrar som, när de samverkar, skapar en situation som liknar den vid ett 100-års regn utav ett regn med kortare återkomsttid. Parametrar som kan påverka hur ett område reagerar på ett nederbördstillfälle är; vattenståndet i vattendragen/vattendraget, snösmältning i kombination med regn och nederbörd på en redan vattenmättad- eller frusen mark. (Svenskt Vatten, 2011a)

Även MSB (2013) använder samma argument och nämner även att den avrinningsförutsättning som skapas med ledningssystemet i kombination med bebyggelsestruktur, de geologiska förhållandena och terrängen i området är avgörande för ett regns konsekvenser.

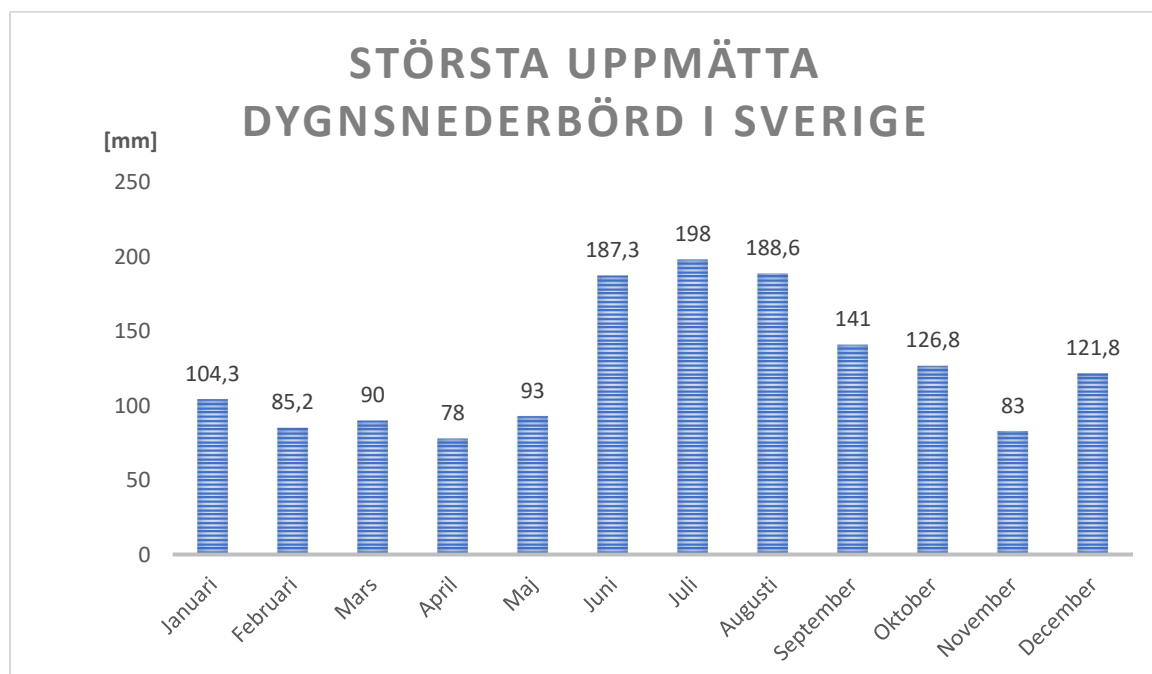
Kortvariga konvektiva skyfall är mycket svåra att förutsäga inom rimlig tidsram. Det är svårt att hinna göra något på kort sikt. För att minska samhällets sårbarhet för skyfall är man därför hänvisad till långsiktiga, proaktiva, förebyggande åtgärder. (MSB, 2013)

För "normala" regn är VA-huvudmannen alternativt väghållaren (eller fastighetsägaren) ansvarig för att avloppssystemet är korrekt dimensionerat och underhållet. När samhällets ledningssystem inte längre räcker till måste dagvattnet ta andra vägar. Situationen blir då en samhällsplaneringsfråga i vid mening, och inkluderar i ett extremfall räddningstjänsten. (MSB, 2013)

2.7.3 Extrem dygnsnederbörd

Den största dygnsnederbörden som har uppmätts i Sverige sedan 1900 inträffade i Fagerheden i Norrbotten under juli månad och uppmättes till 198 mm, se Tabell 3. Notera även att de högsta värdena inträffat under sommarmånaderna juni, juli och augusti.

Tabell 3 – Värden på de största uppmätta dygnsnederbördsvärdena i Sverige de senaste 100 åren (MSB, 2012).



2.7.4 Skyfallsmodellering

Representanter från DHI som har intervjuats av MSB (2015) betonade vikten i kommunikationen runt markanvändningen och höjdsättningen i områden som planeras att exploateras. De senaste åren har många kommuner upprättat kartläggningar av skyfall som en ingående del av underlaget för

översiktsplanen. Anledningen att det har blivit allt vanligare beror troligtvis på skyfallen som inträffat i Malmö och Köpenhamnsregionen de senaste åren. Intresset att ta fram underlag för skyfallsplanering har visat sig vara störst hos de kommuner som redan har drabbats av skyfall. Hos många beställare har arbetet stannat upp efter det att översvämningskarteringen har genomförts eftersom ansvarsfördelningen är otydlig och incitament för att utföra åtgärder saknas.

Brister vid skyfallsmodellering

I en rapport av MSB (2015) genomfördes intervjuer med representanter från företaget DHI för att förtydliga arbetsgången vid skyfallsmodellering. DHI är en av de största aktörerna inom skyfallsmodellering och använder sig av MIKE by DHI produkterna, vilka företaget också själva utvecklar och säljer. Vid beställning av skyfallssimuleringar ifrån kommuner efterfrågas i de flesta fallen att det utförs med ett 100-års regn tillsammans med en klimatkfaktor. I de fall då resultaten levereras i GIS-skikt, för att kommunerna ska ges möjlighet att själva analysera resultatet, redovisas endast vattendjupen som överstiger ett visst värde. Föreslagningsvis 0.1 meter, för att sortera bort de djup som inte förväntas bidra till översvämning. Vid skyfallsmodeller ska alltid kommunens dagvattensystem medräknas, antingen genom schablonmässiga avdrag eller genom grundligare beräkningar.

DHI är kritiska till hur översvämningsdjup definieras. Många olika kriterier vägs in i en samlad bedömning som definieras utefter vattendjup, vilket kan vara ett problem då många förenklingar sker. De uppmuntrar att ett fokus sker mot ett mer nyanserat synsätt där en djupare förståelse kan skapas genom att inkludera flera faktorer i bedömningen. På så sätt kan också ett konsekvensresonemang enklare föras mellan intressenter.

DHI anser även att skyfallsanalyser ska utföras med regn av olika återkomsttider för att möjliggöra för analysering av riskgrad. Det skulle möjliggöra för både skapande av kostnad- nyttoanalyser och prioriteringsordning för åtgärdsvidtagande mellan områden. Synsättet används i Danmark men ännu inte i Sverige till DHI:s kännedom då MSB:s rapport författades 2015. Ingen svensk kommun uppges ha använt sig av metoden i skyfallsplaneringen (MSB, 2015).

2.8 Semi-urbana och icke-urbana områden

Meeus & Gulnick (2008) tar upp i en litteraturstudie baserat på över 200 publikationer problematiken med att definiera semi-urbana områden. Meeus & Gulnick tar upp att begreppet semi-urban både kan ses som en typ av markanvändning eller som en dynamisk markanvändning som avskiljer stad och landsbygd, men även som fenomenet av en dynamisk och snabb ombildning från landsbygd till urban miljö. I den senare förklaringen läggs fokus mer på utbredning sk. urban sprawl.

Cecilia Tacoli (1998) förklarar att indelningen av urban miljö och landsbygd baseras på fysiska utmärkelser som är kontroversiella och som anses vara uppenbara. Hon tar upp tre problemområden varför indelningen av urban miljö och landsbygd är en svårt fråga (Tacoli, 1998).

1. Demografiska och ekonomiska kriterier som definierar vad landsbygd och urban miljö är kan variera stort globalt.
2. Urbana angränsningar och dess samexistens med sin omgivning är svåra att definiera.
3. Stadsbor och företag är beroende av en stor andel basresurser och ekologiska funktioner utanför tätbebyggda områden.

En slutsats Meeus & Gulinck (2008) tar upp är att på grund av olika förhållningssätt, ramverk och behov är det väldigt problematiskt, kanske till och med omöjligt att ta fram en generell definition av ett semi-urbant område. Författarna sammanställer däremot i fyra delar vad som kan identifieras som ett semi-urbant landskap:

- När en markyta består av en tillräcklig hög grad, men inte uteslutande, av artificiell landanvändning med en huvudsaklig urban markyta som kan klassificeras som en sluten yta (transportinfrastruktur, byggnader och andra urbana material)
- När en markyta består av en tillräckligt hög grad, men inte uteslutande, av gröna strukturer, möjligtvis helt eller delvis av artificiell natur, som kan följa uppbyggnader eller har en specifik social eller ekologisk funktion i ett urbant sammanhang, som parker, vägar, trädgårdar
- När det tydligt kan mätas att markanvändningen i någon mån är dynamiskt, antingen beroende av ett tryck från faktorer som kommer ifrån andra omgivande landskap (befolkningstillväxt eller flytt, till exempel) eller ett tryck skapat av markanvändningen själv (till exempel, mer intensiv väginfrastruktur utveckling på grund av en högre grad av pendling)
- När det också kan bevisas, eventuellt genom användning av ett referenslandskap, att studieområdet består av varken en "rent" urban kärna (by, stad) och inte heller av "ren" jordbruksmark

Gällande hydrologi finns ett tydligt samband mellan urbanisering och en ökad ytavrinning p.g.a. ökade hårdgjorda ytor, både när det gäller volym och flöde. En ökad hårdgjord yta minskar infiltrationen vilket i sin tur ökar frekvensen och magnituden av översvämningar vid skyfall (Gillies, et al., 2003).

3 Fallstudie: Bjuvs tätort

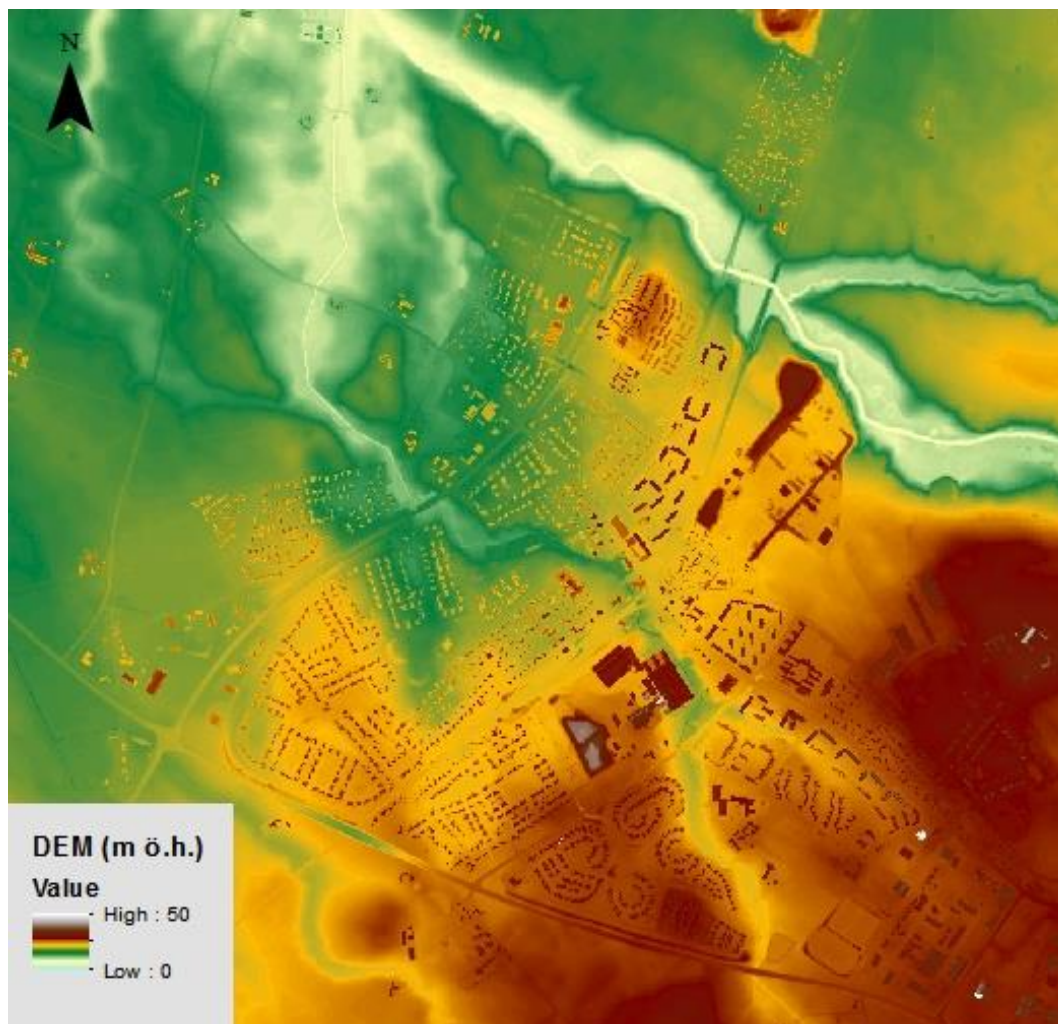
3.1 Beskrivning

Bjuvs tätort är Bjuv kommuns centralort och är beläget 14 kilometer nordöst om Helsingborg. I tätorten bor cirka 7 000 invånare. Det finns tågförbindelse med Skånetrafiken mellan Kristianstad och Helsingborg som stannar i Bjuv två gånger i timmen (Bjuvs kommun, 2015). Bjuvs tätort är från början en gruvort då man i början av 1870-talet började bryta lera och kol. År 1875 byggdes järnvägen mellan Hässleholm och Helsingborg där Bjuvs tätort fick en tågstation (Bjuvs kommun, 2006).

3.2 Fysiska egenskaper

3.2.1 Topografi

Figur 4 visar en höjdprofil över Bjuvs tätort. Bjuvs tätort ligger på en höjd mellan ca 9 och 30 m ö.h. Lågpunkten i området är det vattendrag, Boserupsbäcken som går genom tätorten, från dess sydöstra del till dess nordvästra del.



Figur 4 DEM över Bjuvs tätort där de mörka delarna representerar högre belägen terräng och de ljusa delarna lägre belägen terräng.

3.2.2 Geologiska förhållanden

Bjuv ligger beläget på djupa sedimentlager som enligt SGU:s mätningar uppgår till att vara 15-30 m inom och runtom tätorten. Bjuvområdet beskrivs i allmänna drag av Adrielsson, Mohren och Daniel (1981) som ett backigt moränlandskap där lerlager dominerar mellan moränkullarna. I Hyllinge, strax norr om Bjuv täcks moränkullarna av lera som på sina ställen överstiger en mäktighet av 20 meter. Annars är den maximala lermäktigheten i allmänhet 5 – 10 meter i området runt Bjuv. Jordlagerföljden har genom borrhuggifter visats sig vara mycket komplex, då den har skapats genom ett flertal isframstötter. I trakten runt Bjuv har ända upp till 4 moränlager noterats, avskilda av oftast tunnare sand- och gruslager. Sand- och gruslager uppgår dock till flera meter på vissa platser. Från Bjuvs kyrka löper ett smalt stråk av sand och grus mot syd-sydost. Stråket övertäcks delvis av glacial lera.

Lerlagret som utgör områdets vanligaste förekommande jordart, har varierande mäktighet. Den underlagras på alla borrhugplatser i området av morän. Leran är till stora delar täckt av sand och mo, vilket till viss del framgår av jordartskartan. Sand och mo mäktigheterna har dock inte angivits i kartan om de understiger 3-4 dm. Ytskiktet av jordarten är med andra ord oftast sandig och innehåller en lägre lerhalt än vad jordartskartan illustrerar. Jordartskartans markerade jordart påträffas vanligen först vid karteringsdjup, vilket är ca 0.5 meter (Adrielsson, et al., 1981).

3.3 Dagvatten- och översvämningshantering i Bjuvs kommun

VA-huvudmannen för Bjuvs kommun, NSVA, har tillsammans med Bjuvs kommun tagit fram en dagvattenpolicy för kommunen. Denna policy beskriver de grundprinciper som ska följas vid hantering av dagvatten och vänder sig mot tjänstemän, politiker, fastighetsägare, verksamhetsutövare, exploatörer m.fl. Policyn inkluderar även hantering av dräneringsvatten från byggnader, men gäller inte för avrinning från åkermark. Undantag ges dock vid kritiska fall då det är behov att skydda bebyggelse från denna typ av avrinning. Nedanstående principer citerade från Bjuvs dagvattenpolicy har tagits fram av NSVA och gäller för samtliga kommuner som NSVA är VA-huvudman för (NSVA, 2014):

- *”Dagvattensystem ska utformas så att man undviker skadliga uppdämningar vid kraftiga regn”*
- *”Dagvatten ska hanteras som en resurs som berikar bebyggelsemiljön med avseende på upplevelser, rekreation, lek, naturvärden och biologisk mångfald”*
- *”Dagvattensystem ska utformas med hänsyn till platsens förutsättningar, dagvattnets föroreningsgrad och recipientens känslighet”*
- *”Den naturliga vattenbalansen ska i möjligaste mån bibehållas”*
- *”Dagvattenflöden ska reduceras och regleras så att belastning på ledningsnät och recipienter begränsas”*
- *”Ledningar ska dimensioneras enligt Svenskt Vattens anvisningar och med hänsyn till klimatförändringens effekter”*

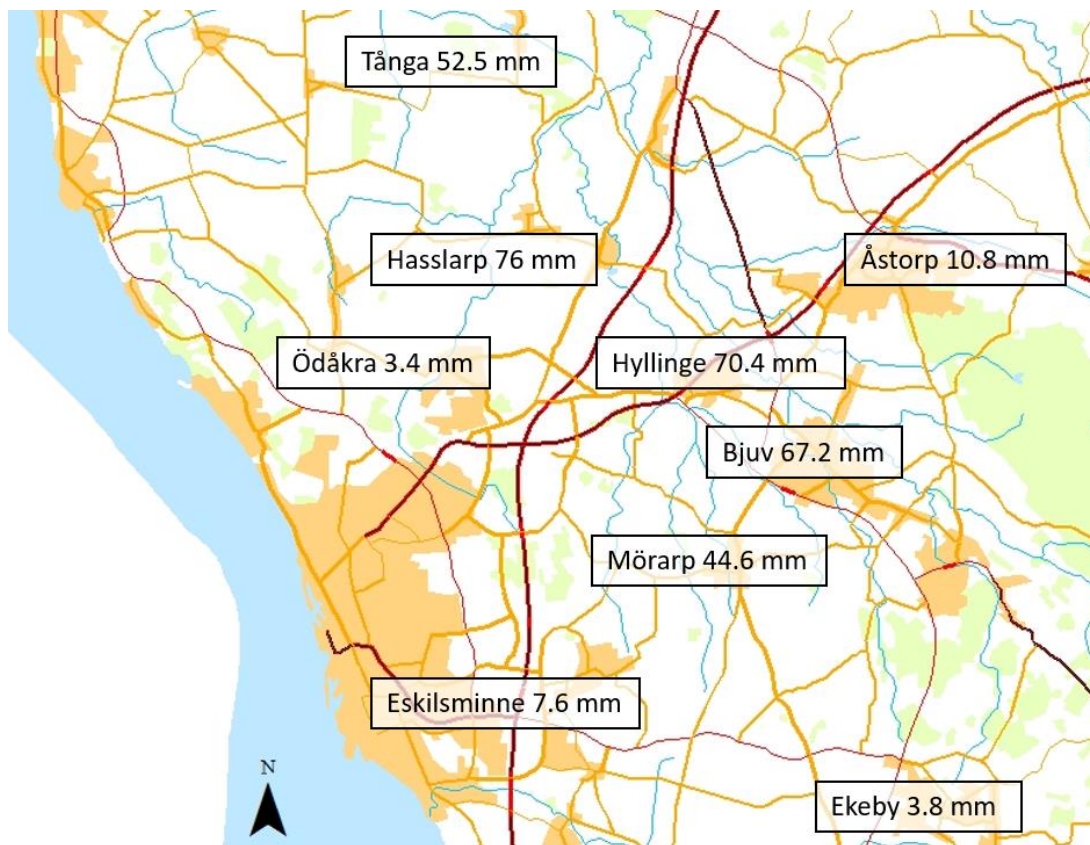
Dagvattenpolicyn hänvisar till Svenskt Vattens publikationer P105 och P90. Policyn belyser bland annat att man måste planera dagvattnets väg, utveckla fler mångfunktionella ytor, ta fram kostnadseffektiva strategier, skapa mervärden och att fördröjning av dagvatten ska ske både på tomtmark och allmän platsmark. Vidare belyser den att man tidigt i en detaljplan- och översiktplaneringsprocess ska ta ställning till hur dagvattenavrinning sker, om fördröjning av dagvatten ska anläggas, ansvarsområde och vilka krav som ska ställas på rening av dagvatten. När det gäller att undvika översvämningar i ett planområde säger dagvattenpolicyn att man ska kartlägga hur drän- och dagvatten ska tas hand om samt att man måste skydda planerad bebyggelse från avrinning uppströms och även se till att bebyggelse nedströms planområdet är skyddat för markavrinning. När det gäller topografi ska man höjdsätta kvarter, vägar och grönområden så att sekundära avrinningsvägar kan skapas och så att instängda områden inte uppstår och riskerar att skada bebyggelse.

Dagvattenpolicyn tar upp bland annat rutiner och underlag som är av behov för en framtida långsiktig dagvattenhantering (NSVA, 2014):

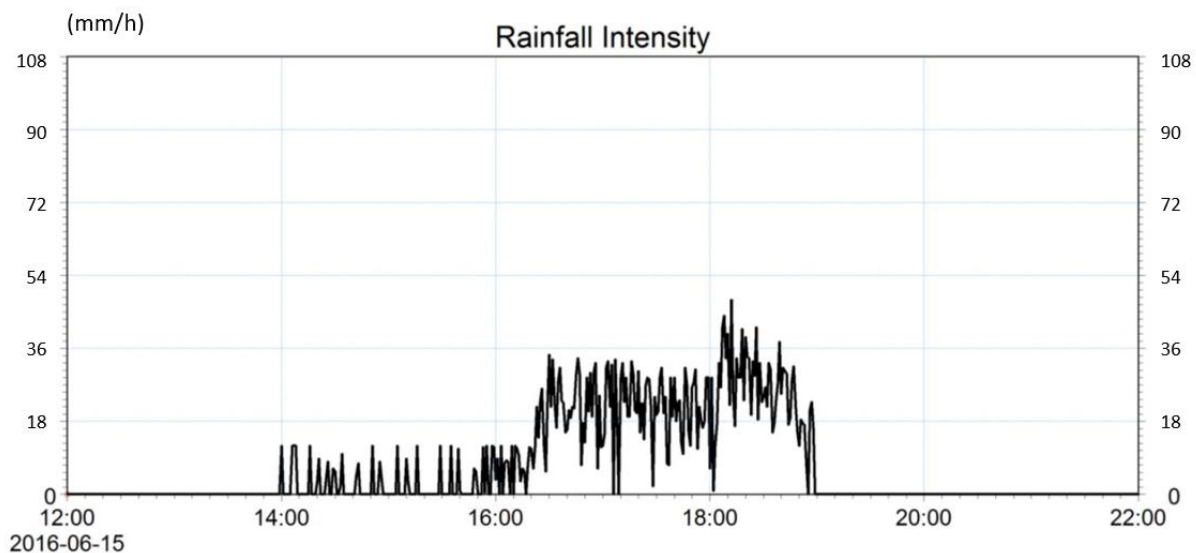
- *”Avrinningsmodeller för att kartlägga var översvämningsrisker behöver minskas”*
- *”Fortsatt arbete med klimatanpassning och bedömning av konsekvenser av klimatförändringar”*

3.4 Översvämning i Bjuvs tätort 15 juni 2016

Bjuv, Hyllinge och Åstorp tillsammans med flera små samhällen drabbades den 15 juni 2016 av kraftiga översvämningar. Regnmätare på Ekebro reningsverk i nordvästra Bjuv uppmätte 67 mm under de 5 timmar som regnet varade mellan klockan 14-19 (NSVA, 2016). Se Figur 5 för karta över uppmätta nederbördsmängder i översvämningsdrabbade områden (NSVA, 2016). Se även Figur 6 för intensitetsbeskrivning över den uppmätta nederbörden i Ekebro (Tyréns, 2016).



Figur 5 Uppmätta nederbörds mängder från klockan 14-19 i översvämningsdrabbade områden vid skyfallet den 15 juni 2016 enligt uppgifter från NSVA (2016)



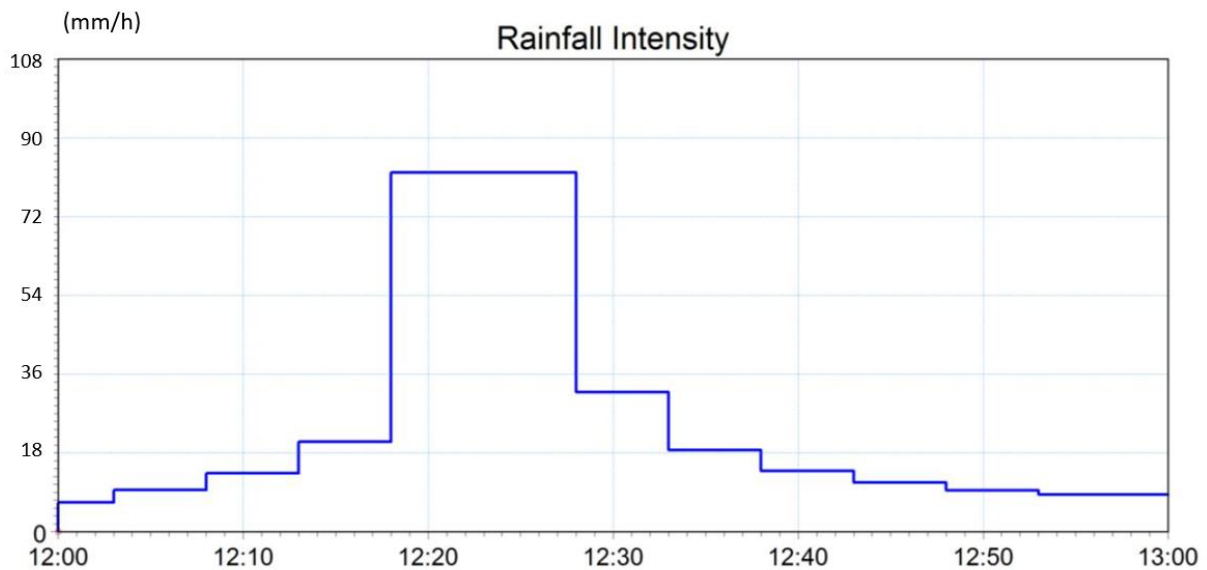
Figur 6 Intensitetsbeskrivning över den uppmätta nederbörden i Ekebro 15 juni 2016, mm/h. Volym 67 mm och ca 5 h varaktighet (Tyréns, 2016).

Det regn som uppmättes i Ekebro motsvarar ett regn som återkommer ungefär vart 70:nde år. NSVA, Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp, ansvariga för den kommunala vatten- och avlopp-verksamheten i Bjuvs och Åstorps kommuner har fått in strax under 400 översvämningsanmälningar, varav cirka 340 inom Bjuvs tätort.

3.5 Tidigare utredningar och resultat

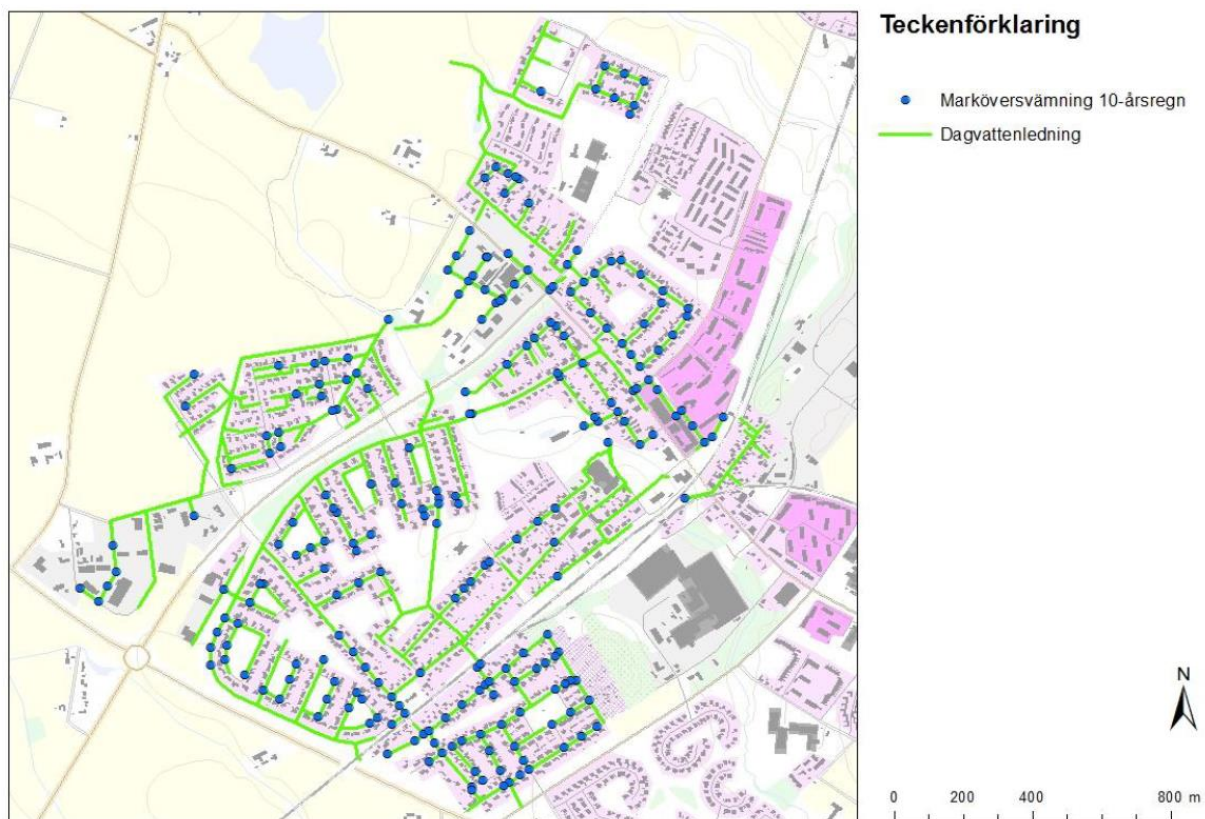
Tyréns (2016) har i uppdrag för NSVA gjort kapacitetsberäkningar av dagvattenledningssystemet i Bjuvs tätort, med programmet MIKE Urban by DHI. Uppgifter om Ledningsnätets dimension och utbredning är från NSVA:s databas för ledningsnät. Tyréns presenterar bland annat utfallet för vilka brunnar som drabbas av marköversvämning för ett regn med återkomsttid på 10 år (enligt branschrekommendationer) samt för det regn som uppmättes i Ekebro reningsverk den 15 juni 2016, vilket motsvarade ett regn med återkomsttid på cirka 70 år.

Den dimensionerande nederbörden som används i modellen är ett så kallat CDS-regn (se avsnitt 4.2.3 för beskrivning). Det regn med återkomsttid på 10 år som har modellerats har en varaktighet på 60 min och en total volym på ca 26 mm. Se Figur 7 för beskrivning av detta CDS-regn.



Figur 7 CDS-regn med 10 årsåterkomsttid och 60 minuters varaktighet (Tyréns, 2016).

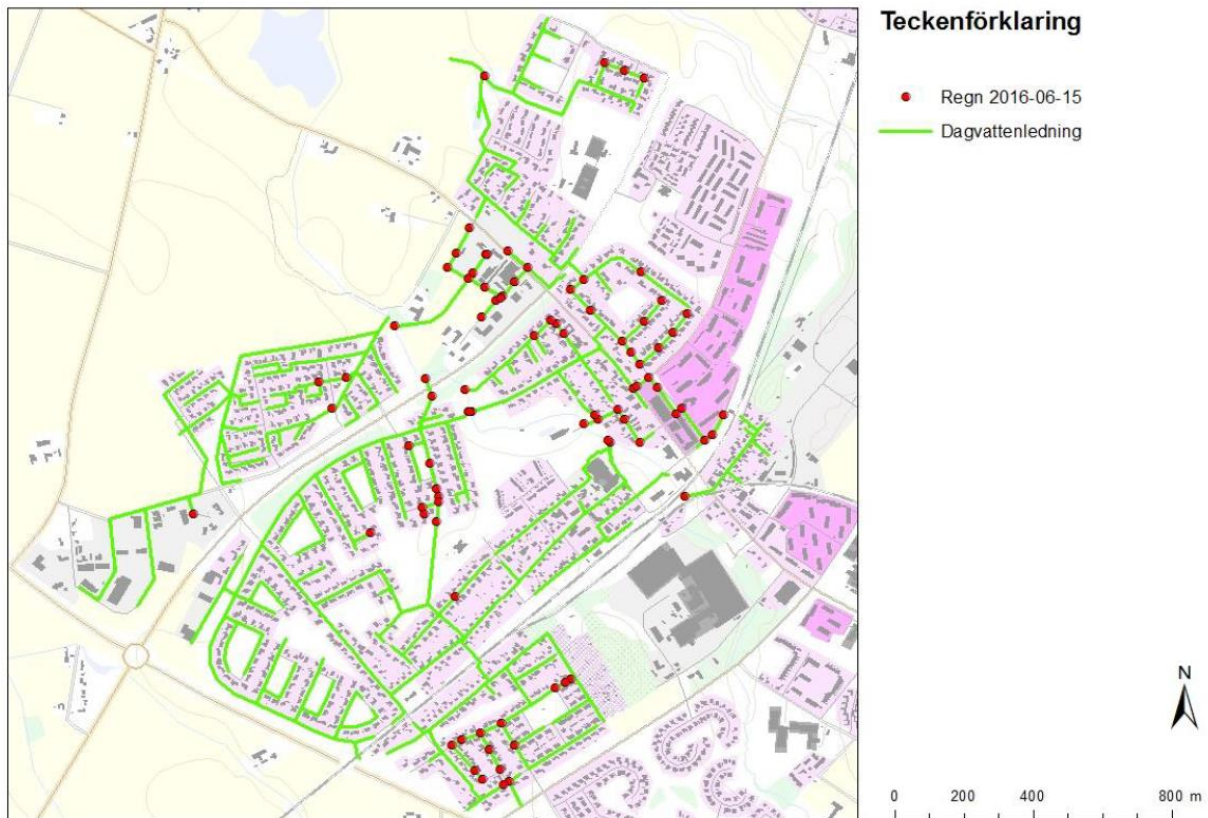
Figur 8 visar resultatet för vilka dagvattenbrunnar som drabbas av marköversvämning vid ett regn med 10 års återkomsttid och 60 minuters varaktighet.



Figur 8 Dagvattenbrunnar som enligt beräkning drabbas av marköversvämning i Bjuvs tätort vid ett regn med 10 års återkomsttid och 60 minuters varaktighet (Tyréns, 2016).

Som slutsats konstaterar Tyréns (2016) att resultatet vid ett dimensionerande regn (återkomsttid på 10 år) visar att det finns kapacitetsbrister i dagvattenledningsnätet. Resultatet från modelleringen visar därför att ledningsnätet för dagvatten i Bjuvs tätort har en lägre dimensioneringsgrad än 10 år.

Tyréns (2016) presenterar även utfallet av vilka brunnar som drabbas av marköversvämning vid modellering av det regn som uppmättes i Ekebro den 15 juni 2016, se Figur 9. Anledningen till att 10-årsregnet i Figur 8 har lett till fler marköversvämmade brunnar än regnet den 15 juni i Figur 9 har gjorts beror på att varaktigheten har varit kortare och intensiteten högre.



Figur 9 Dagvattenbrunnar som enligt beräkning drabbas av marköversvämning i Bjuvs tätort för uppmätt regntillfälle 15 juni 2016 (Tyréns, 2016).

Tyréns (2016) nämner att eftersom det regn som inträffade 15 juni 2016 var ett regn med återkomsttid på cirka 70 år skedde stor avrinning från mättad naturmark. Förhållandet hur mättade ytor påverkade ledningssystemet och orsakade översvämningar i lågpunkter studeras inte i denna utredning. Tyréns (2016) föreslår därför vidare att modellberäkningen bör vidareutvecklas till att inkludera markavrinning. NSVA (2016) nämner i sin utredning att en ledning på Mörarpsvägen i centrala Bjuv visade sig vara 90 % igenväxt av rötter.

3.6 Analysområde

Ett analysområde med en area av cirka 130 hektar (se Figur 10) har valts för att belysa de områden som har drabbats hårt av tidigare översvämningar och som inkluderar semi-urbana ytor. Analysområdets sydvästra del består bebyggelsen till stor del av villaområden, integrerat med grönytor av som är stora både till antal och yta. Analysområdet avgränsar i söder till åkermark. Analysområdets norra del är tätortens centrum och har inte lika mycket tillgång till fria grönytor. Totalt sett består analysområdet av 723 bostadshus.



Figur 10 Område i Bjuvs tätort som analyseras i ytavrinningsmodell i denna rapport.

4 Teori och Ytavrinningsmodellering i MIKE 21

4.1 Programvaror

4.1.1 MIKE 21

DHI har utvecklat ett hydrauliskt modelleringsverktyg som beskriver ytvattenflöden i två dimensioner. Programvaran kan enkelt kopplas ihop med andra modeller framtagna av DHI, t.ex. MIKE Urban för beskrivning av dagvattennätet eller MIKE SHE för bl.a. grundvattenflöden. Modellen utvecklades först och främst för kustnära områden men används idag även för översvämningsanalyser i icke-marina miljöer.

Modellen använder sig främst av ekvationer som bygger på bevarande av massa och moment integrerat i vertikalled. Ekvationerna beskriver flödesskillnader och olikheter i vattennivå i 2D. (DHI, 2016b)

Ett viktigt dokument för vägledning i modelleringsarbetet är rapporten *Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet* som togs fram av MSB (2014). Den innehåller vägvisning om hur uppsättningen av skyfallsmodellen i MIKE 21 bör göras.

4.1.2 ArcGIS

ArcGIS är en programvara utvecklad av ESRI Inc. Ett geografiskt informationssystem (GIS) är ett system för analysering, hantering och visualisering av geografisk information (ESRI, 2001). I denna rapport har det främst använts för analysering av resultaten från MIKE 21. Det har även använts för att visualisera de kartor som förekommer i rapporten samt primär analys av möjliga implementeringar. ArcGIS har bland annat en inbyggd metod för att skapa DEM från laserdata, något som kan användas för att skapa höjddata som sedan kan användas i DHI:s programvaror.

4.1.3 FME

FME står för The Feature Manipulation Engine och är en plattform där data kan översättas mellan geografiska och digitala format (Safe Software, 2016). FME har använts för att applicera implementeringar i höjddmodellen, d.v.s. ändra höjddata genom att sänka/höja samt interpolera höjddata för bestämda celler. Det har även använts för att undersöka vilka fastigheter som i området per definition blir översvämmade i modelleringen.

4.2 Grundläggande teori

4.2.1 Jordarter

Jordartsindelning

I följande avsnitt redogörs för jordarters indelning baserat på Adrielsson, Mohren och Daniel (1981).

Indelning efter kornstorleksfördelning

Atterbergs kornfördelningskurva ligger till grund för kornstorleksfördelningen, se Tabell 4. Viktigt att nämna är att finmo och mjäla är tillsammans även kända i geologiska sammanhang som silt.

Tabell 4 Atterbergs korngruppskala (Adriellsson, et al., 1981).

Grovindelning	Finindelning	Kornstorlek (mm)
Block	-	> 200
Sten	-	200 - 20
Grus	Grovgrus	20 - 6
	Fingrus	6 - 2
Sand	Grovsand	2 - 0.6
	Mellansand	0.6 - 0.2
Mo	Grovmo	0.2 - 0.06
	Finmo	0.06 - 0.02
Mjåla	Grovmjåla	0.02 - 0.006
	Finmjåla	0.006 - 0.002
Ler	-	< 0.002

Tillvågagångssätt vid kartläggning

I följande avsnitt redogörs hur jordarter karteras på SGU med fokus på generaliseringar och minsta mäktighet. Återkoppling till avsnittet sker i diskussionen.

Karteringsmetodik

Inom jordtäckta områden kartläggs jordarterna på ca 0.5 meters djup, under det av vittring eller odling förändrade ytskiktet. Vid kartläggningen har observationer utförts på högst 200 meter mellan mätpunkterna. Observationerna har utförts där växlingar förmodas förekomma.

Mäktighetsuppgifter

De jordarter som markerats på SGU:s jordartskarta består av en mäktighet på minst 0.5 meter. Borruppgifter för att bestämma djupet på jordmäktigheten från ytan till fast botten har utförts i området. De varierar mellan 15 – 30 meter, vilket är höga värden för svenska förhållanden.

Generalisering

SGU:s kartbild är generaliserad för att återge områdets allmänna karaktär. Indelningen i geologiska enheter på platser som har en snabbt varierande växling mellan jordarter är gjord så att den allmänna karaktären i området ska framträda.

Svallsediment som täcker isälvsavlagringar markeras inte i kartorna som framställts av SGU. Det förekommer att svallsedimentet överlagras lera som har avsatts på isälvsavlagringar i lågpunkter såväl som i sluttningar. Viktigt att nämna är att detta lerlager inte heller illustreras utan markeras som isälvsavlagring.

4.2.2 Topografi

I följande avsnitt redogörs för höjdmodellens uppbyggnad med fokus på DEM och Nya Nationella Höjdmodellen. Här nämns även numerisk upplösning, datakvalitet samt att brister i klassificering av markyta kan ge upphov till avvikelser i höjddata.

Uppbyggnad av höjdmodell

En höjdmodell är uppbyggd i rasterstruktur, i en så kallad rasterbaserad DEM. Data representeras i ett raster vilket innebär att området representeras i ett rutnät av celler. Värdet för varje specifik cell har

tagits fram genom att interpolera punktdata i form av laserdata framtagen från Nya Nationella Höjdmodellen, NNH.

Numerisk upplösning

Med en grövre upplösning tenderar små detaljer att utebli från modellen och enligt Haile & Rientjes (2005) blir storleken på fel blir betydligt större om en grövre upplösning väljs framför en finare.

För att man ska kunna beskriva viktiga detaljer så som hus, diken och vägar med ett gott resultat rekommenderar Brandt (2009) att använda en upplösning på minst 3–4 meter. Brandt rekommenderar att använda en upplösning på en meter då det ställs höga krav på planeringsändamålet medan rekommendationen för allmän detaljplanering är fyra meter cellstorlek.

Att minska upplösningen med faktor två innebär att filstorleken minskar med faktor fyra och beräkningstiden med ca faktor 10, något som talar för att en hög upplösning inte alltid är att eftersträva (MSB, 2014).

Nya Nationella Höjdmodellen (NNH)

Höjdmodellen från Lantmäteriet ger markytans och vattenytors höjd, vegetation och byggnader är därmed inte inkluderade. Höjdvärdena har tagits fram genom laserscanning och Lantmäteriet (2016) bedömer att NNH har en punkttäthet mellan 0.5–1 punkt per kvadratmeter. Referenssystemen i NNH är SWEREF 99 TM för planet och RH 2000 för höjden.

Datakvalitet

Den rasterbaserade höjdmodellen, DEM 2+, har ett medelfel på 0.05 m i höjd och 0.25 m i plan på hårdgjorda ytor. I kuperad terräng försämras noggrannheten. När interpolering sker till terrängmodell i rasterformat, sker en ökning av medelfelet (Lantmäteriet, 2016).

Brister i klassificering

Vegetation klassas ibland felaktigt som markyta. Lantmäteriet (2016) påstår att det finns två orsaker till det, antingen att ekot från laserscanningen inte kan registreras eller att vegetationen är så tät att inga laserpunkter kan reflekteras från marken. När ett av dessa fenomen uppstår och vållar totalt bortfall av punkter från markytan kan vegetationen felaktigt klassas som markyta.

I hårt kuperad terräng uppfattar algoritmen för markklassificering kraftigt avvikande punkter så som träd och liknande. Problem kan enligt Lantmäteriet (2016) uppstå där det i verkligheten finns kraftiga avvikelser i markytan. Skillnaderna förbises och klassas inte som markyta.

Lantmäteriet (2016) fastslår också att medelfelet för vattenytor är större p.g.a. vattens reflekterande och absorberande egenskaper. Detta skapar avvikelser i punktdata och gör att vattenytans höjdvärde, i form av för höga och låga värden, klassas fel i större utsträckning.

Vattenövergångar

Vid framtagning av den topografiska kartan skapas en sammanhängande markmodell, en DEM. Ett problem vid skyfallsmodellering är att broar och mindre vattenövergångar klassas som markyta. Dessa strukturer kommer att blockera flödet i modellen eftersom viadukter, vattentrummor och kulvertar kommer att utebli i markmodellen. Även i NNH som finns att tillgå från Lantmäteriet är broar inkluderade i höjdmodellen.

En lösning för att ta bort blockaderna i modellen är att justera höjddatan genom att sänka ned bronivån till markytans nivå på vardera sida av bron. Det kan göras genom att antingen manuellt justera data

eller genom att interpolera med marknivåerna på sidorna av bron. Skillnaden mellan modellresultat och verklighet blir mindre när en större vattengång modifieras jämfört med när modifieringar görs för mindre kulvertar. Detta beror på modellens två meters upplösning är betydligt större än en kulverts diameter. Om inte ändring för kuverterade sträckors genomförs, överskattas dämningen uppströms. Om en ändring sker, blir effekten den motsatta, d.v.s. att kulvertarnas dämmande effekt underskattas.

4.2.3 Typregn

I följande avsnitt redogörs typregn med fokus på CDS-regn. Rekommendationen från (Blomqvist, et al., 2016) är att använda en mätserie med blockregn vid dimensioneringskontroll av befintliga ledningsnät, d.v.s. om översvämningar har inträffat. Vid dimensionering av nya ledningar rekommenderas istället att använda CDS-regn.

Typregn

Datormodeller för beräkning av dagvattenavrinning kräver indata i form av regnintensitet beroende av tiden. Det finns då två typer av regn som används, dels historiska regn och dels typregn. Typregn är utvecklat för att används vid dimensionering och analys av VA-system. Oftast är typregnets återkomsttid kopplat till en graf där intensiteten varierar med varaktigheten. Ett exempel på ett typregn är CDS-regnet (Chicago Design Storm). (Svenskt Vatten, 2011b)

CDS-regn

1957 presenterades ett typregn i Chicago som internationellt är känt under betäckningen Chicago-regnet, Chicago Design Storm (Svenskt Vatten, 2011b). Ett CDS-regn är ett artificiellt regn där regnintensiteten tas fram genom formler och lokal regnstatistik (ibid.). Den rekommenderade formeln enligt Svenskt Vatten (2011a) är att använda Dahlströms nya formel. Regnet byggs upp av ett flertal blockregn med varierande varaktighet och intensitet. Det vitalaste karaktärsdraget för ett CDS-regn är att maximala medelintensiteten för olika varaktigheter följer en intensitets-varaktighetskurva, IDF-kurva (Blomqvist, et al., 2016).

Regnet består av ett för-regn, ett intensitetsmaximum och ett efter-regn. En noggrannare utvärdering av CDS-regnets utformning matematiskt sätt följer nedan:

Före intensitetsmaximum gäller följande formel (a) (Svenskt Vatten, 2011b):

$$i = \frac{a \times b}{\left(\frac{t_f}{r} - b\right)^2} + c \quad (a)$$

Efter intensitetsmaximum gäller följande formel (b) (Svenskt Vatten, 2011b):

$$i = \frac{a \times b}{\left(\frac{t_e}{1-r} - b\right)^2} + c \quad (b)$$

Där a, b och c är platsspecifika konstanter som varierar efter återkomsttiden på regnet.

t_f = tiden från regnets början till intensitetsmaximum.

t_e = tiden från intensitetsmaximum till regnets slut.

r = förhållandet mellan tiden innan intensitetsmaximum (t_f) och regnets totala varaktighet (T)

$r = t_f / T$; $1 - r = t_e / T$

Läget i tiden då intensitetsmaximum antas inträffa bestäms genom att utvärdera då det tidigare inträffat för historiska regn. Intensitetsmaximum ligger ofta placerat så att det inträffar tidigare än regnets halva varaktighet. Arnell (1982) refererar till en mängd olika forskare som funnit att r varierar för både plats, varaktighet och återkomsttid. Förhållandet mellan regnets början till intensitetsmaximum och den totala varaktigheten på regnet, det tidigare nämnda r -värdet varierar mellan 0.3 och 0.48 i rapporterna som granskats av Arnell.

Vid skapandet av CDS-regn vid dimensionering finns det ingen framtagna standard för hur den specifika uppbyggnaden ska se ut, vilket gör det svårt att jämföra olika CDS-regn och rapporter med varandra.

Blockregn

Ett blockregn är konstruerat så att det har samma intensitet under hela regntillfället. Blockregnstatistik rekommenderas att tas fram av Dahlström (2010) genom att räkna ut den med hjälp av Dahlströms formel då det inte finns tillräckligt med data för platsen.

Beträffande val av varaktigheten på ett blockregn skriver Svenskt Vatten (2016) att den ska väljas beroende på vad för rinntid som systemet har fram till den ledning som ska dimensioneras, alt. kontrolleras. Svenskt Vatten (2016) nämner att vid dimensionering av dagvattenledningar bör varaktigheten ej underskrida 10 minuter.

Val av storlek på regn

När skyfallsmodellering görs bör regnet, enligt MSB (2014), vara av sådan storlek att det överstiger ledningsnätets kapacitet med stor marginal. Annars kommer simplificeringen att schablonmässigt dra av ledningsnätets kapacitet från regnet att skapa en för stor felkälla. Osäkerheten i resultatet blir mindre desto större skillnaden mellan det valda regnet och kapaciteten på ledningsnätet är. Därav har MSB i sin rapport om metodik vid skyfallsplanering från 2014 framfört rekommendationen att regnet som väljs minst bör ha en återkomsttid på 100 år.

Hänsyn till ledningsnätets kapacitet

MSB (2014) använder sig vid skyfallsmodellering av ett CDS-regn med en varaktighet på 6 h och en återkomsttid på 100 år. Ett avdrag görs för ett ledningsnät med kapacitet för ett regn med återkomsttid på 10 år och 30 min varaktighet. Vad för varaktighet som väljs beror på rinntiden för dagvattensystemet och är alltså helt platsspecifik.

4.2.4 Infiltration

Hänsyn till markens infiltrationskapacitet

Vid skyfallsmodellering antas oftast alla ytor i modellen vara impermeabla enligt MSB (2014), m.a.o. bortser man helt från markens infiltrationskapacitet. Följderna av detta är att vattendjupen och djupet på de översvämmade områdena överskattas generellt och främst där den verkliga infiltrationskapaciteten är hög. MSB (2014) föreslår att man istället tar hänsyn till infiltrationen i området genom att göra ett schablonmässigt avdrag motsvarande infiltrationskapaciteten från regnvolymen. MSB föreslår också att, eftersom skyfall nästintill uteslutande sker under sommar-månaderna i Sverige då grundvattennivåerna generellt är låga, kan antagandet att magasinkapaciteten i de övre jordlagren är god göras.

Hewletts hypotes

Hypotesen grundar sig i att all nederbörd som faller kommer att infiltrera ned i marken. Grundvattenytan kommer att stiga på grund av infiltration och eventuellt grundvattenflöde till dess att

marken blivit helt mättad. När det sker kommer all nederbörd, oberoende av intensiteten, att bidra till markavrinning. Alltså kommer bara de områden som är fullt mättade att skapa full markavrinning, och de kommer att breda ut sig allteftersom regnet pågår.

Desto större lutning som marken har, desto större kommer bidraget av omättat flöde till markytan att vara. Om avrinningsområdet är platt kommer en stor del av marken vara mättad då vatten lagras i marken som grundvatten, medan det för ett avrinningsområde med större lutning kommer vara mindre mättat då vatten inte lika enkelt infiltrerar.

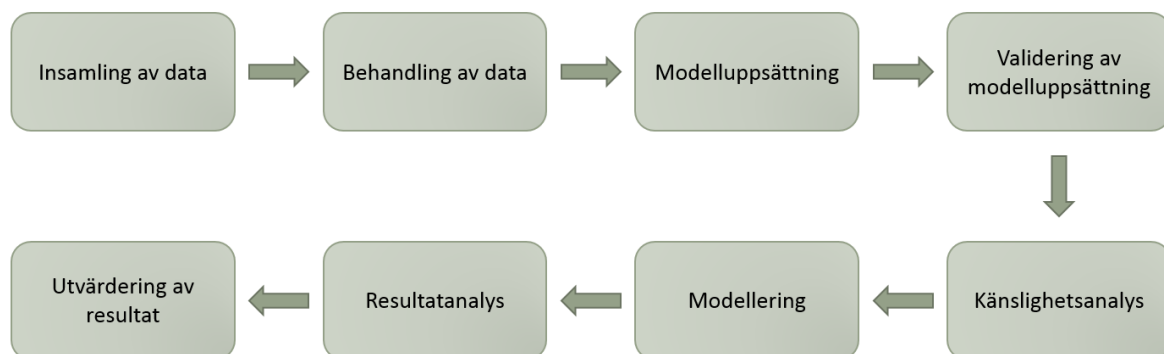
Styrkan med Hewletts hypotes (Ward & Robinson, 2000):

- Den fungerar som teori för ett brett spektrum av fältobservationer;
- Den innehåller viktiga dynamiska egenskaper för avrinningsprocesser, till exempel den icke-linjära topografin; och
- Den rymmer hela utbudet av avrinningsprocesser.

4.3 Modelluppsättning

I följande avsnitt redogörs för grundläggande modelluppsättning och indata i MIKE 21. För samtliga applikationer i MIKE 21 är topografin den viktigaste parametern. De näst viktigaste parametrarna är områdesavgränsningar, regn och evaporation, därefter följer kalibreringsparametrar så som Eddy viskositet och motstånd. (DHI Water & Environment, n.d.)

Figur 11 illustrerar en stegvis metod som utförts för framtagning av modelleringsresultat.



Figur 11 Metod för framtagning av modelleringsresultat

4.3.1 Struktur

MIKE 21-modellen byggs upp i så kallad flödesmodell, *Flow Model*, som det benämns i MIKE21 där samtliga indata definieras. Indatan kan bestå av endimensionella tidsserier, tvådimensionella tidsserier och konstanter. I denna modelluppsättning antas modellen vara enbart hydrodynamisk. För att kunna modellera ytavrinning på land, *inland flooding*, måste även detta markeras som aktiv i programmet.

4.3.2 Topografi

Den höjddata för området som ska modelleras i MIKE 21 beskrivs med en tvådimensionell fil. Området som importeras till programmet måste vara rektangulärt, däremot innebär det inte att modelleringsområdet måste vara samma område. Genom att definiera ett värde, på vad som i

programmet är landvärde, *Land Value*, på en eller flera celler innebär att de utesluts från beräkningarna. På så sätt kan det importerade området krympas och specificeras, något som att eftersträva då det är möjligt eftersom det minskar beräkningstiden markant.

Under topografiinställningar ska även kartans projektion bestämmas, i denna modelluppsättning används SWERF99_13_30 eftersom det ger en god projektion för Bjuv. Upplösningen, d.v.s. storleken på cellerna, är i denna modelluppsättning två meter. Den höjddata som används är hämtad från Lantmäteriet.

Vattendrag

Vattenytan som tas fram med hjälp av laserscanningen varierar kraftigt. Vattendraget i analysområdet kallas för Boserupsbäcken. Den är relativt smal och den ger få höjddata i höjdsanningen. Följden av att vegetationen som finns runt omkring bäcken blir felaktigt klassad som mark gör att vattendraget blir felaktigt avbildat. Höjden har därför manuellt sänkts på de platser där bäckens höjprofil till synes var för hög.

Byggnader

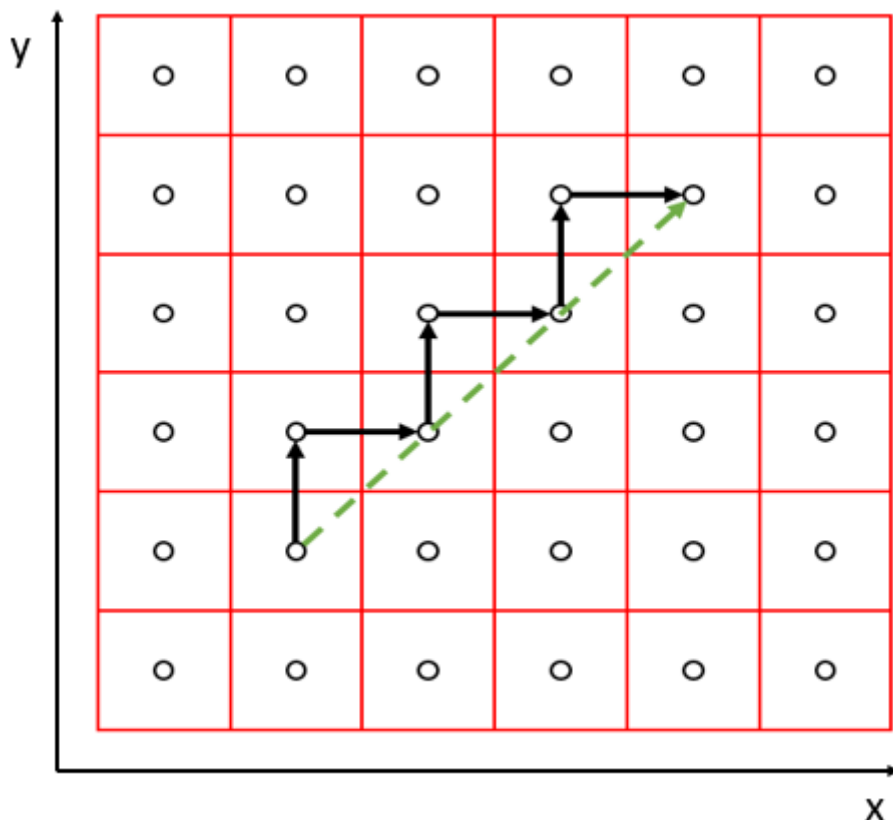
Byggnaderna har höjts upp till sin befintliga höjd för att förhindra att genomströmning sker.

Implementeringar av öppna dagvattenlösningar

När nedsänkningar av grönområden implementerats i modellen, har det gjorts i programmet FME. Sänkningar av grönområden har gjorts genom att räkna ut medelvärdet i meter över havet för alla celler som nedsänkningen består av. Från detta värde dras sedan ett bestämt djup av; 0.5 och 1 meter har använts i modellen. Alla celler som nedsänkningen består av justeras till detta höjdvärde och ger fördjupningen en jämn bottenyta. Eftersom ett medelvärde för alla cellvärden används som utgångsvärde från vilken sänkningen görs, är det viktigt att ytan som ska sänkas inte ligger i en allt för kraftigt lutning. Om den skulle göra det, försvinner nedsänkningens fördröjande funktion.

När svackdiken och rinnvägar implementeras i modellen, görs även det med FME. En interpolering sker från den cell som har ansatts till att vara startpunkt till den som valts till slutpunkt. Från start- till slutpunkt tas sedan differensen i vertikalled och divideras med antal celler som rinnvägen eller svackdiket innefattar. Från varje cellvärde dras denna differens av från start- till slutvärde för cellerna som berörs så att en jämn linje skapas från start till slut. Dessa värden sänks sedan antingen 0.2 meter för rinnvägar och 0.5 meter för svackdiken.

Kantstenar har införts i programmet genom att i MIKE 21 manuellt justera berörda celler. De celler som har kantsten har höjts med 0.3 meter från den ursprungliga höjden.



Figur 12- Illustration av hur interpoleringar har utförts i modellen. De röda rutorna symboliserar cellerna i MIKE 21 och cirkeln i mitten symboliserar cellens mittpunkt.

När svackdiken och rinnvägar har införts i höjdmodellen, har det gjorts genom att utföra interpoleringar strikt i x- och y-led, detta visualiseras i Figur 12 av de svarta pilarna. Anledningen till att interpoleringen inte har utförts utefter den gröna pilen i Figur 12 är för att vattnet inte kan flöda i MIKE 21 från cell till cell om de inte ligger direkt belägna intill varandra och delar en sida.

4.3.3 Simuleringsperiod

När tidsstegen ska definieras ska hänsyn tas till modellens upplösning. Det krävs att tidsstegen är små för att modellens stabilitet inte ska äventyras. Att minska tidsstegen resulterar dock i att beräkningstiden ökar.

För att veta vad för tidssteg som ska användas finns enligt DHI Water & Environment (i.d.) en tumregel som innebär att Courant numret, Cr , inte ska överstiga 1. Överstigs inte värdet, ska modellens stabilitet inte äventyras. Courant numret beräknas enligt följande (DHI Water & Environment, n.d.):

$$Cr = U_{max} \times \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (c)$$

där U_{max} är den maximala flödes hastigheten [m/s], Δt är tidssteget [s] och Δx är modellens upplösning.

Modellens simuleringsperiod består av 57 600 tidssteg, med ett intervall på 0.25 sekunder. Detta motsvarar en simuleringsperiod på fyra timmar. Det resulterar i att Courant numret för de gjorda simuleringarna är ungefär 0.4. Simuleringstiden har tagit 16 timmar per simulering.

4.3.4 Regn

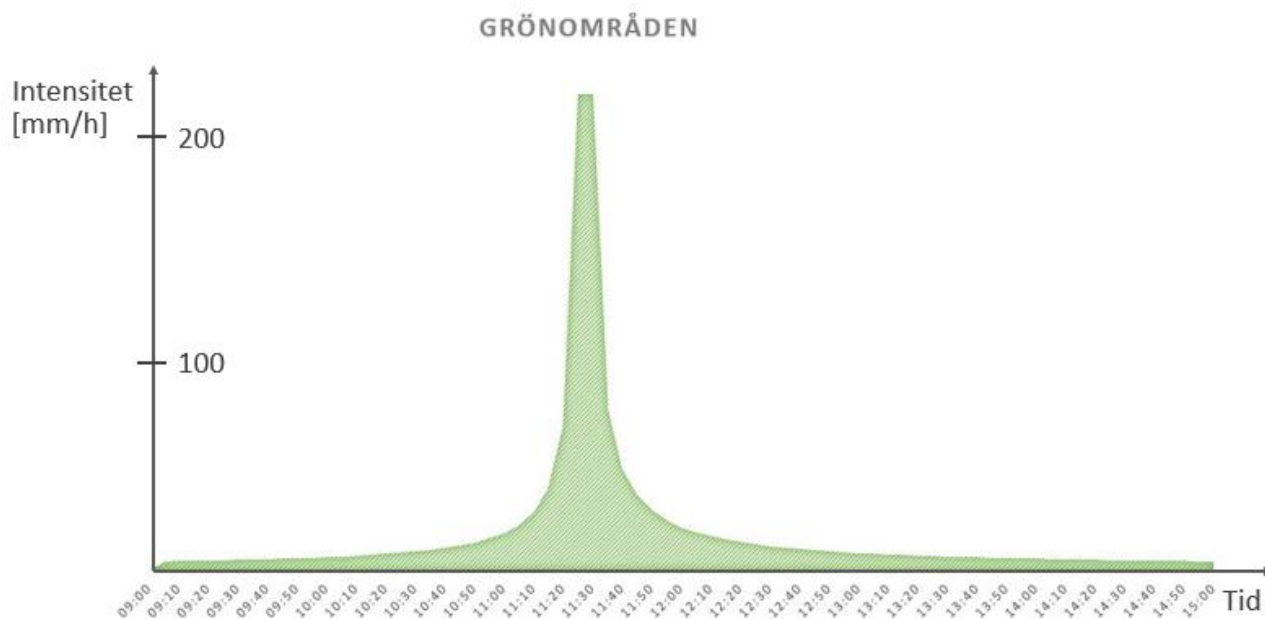
I MIKE 21 definieras regnet under rubriken *Source and Sink* och kan vara uppbyggt antingen genom att vara konstant, och då vara en tidsserie, eller vara varierande. Det varierande regnet beskrivs i en tidsserie i 2D. Regnet som har använts vid modelleringen är uppbyggt i 2D, som ett CDS-regn med återkomsttid på 100 år, en varaktighet på 6 timmar och med en tidsserie bestående av varierande nederbördsintensitet. Liksom i MSB:s rapport (2014), görs ett ledningsnätsavdrag i denna studie genom subtraktion från regnintensiteten. Skillnaden är att varaktigheten för ledningsnätsavdraget är satt till 6 timmar då det är praxis på Tyréns att uppföra regn och ledningsnätsavdrag med samma varaktighet. Kapaciteten på ledningsnätet är satt till 5 år då Tyréns (2016) rapport visar att ledningsnätet i Bjuv inte klarar av att omhänderta ett regn med 10 års återkomsttid.

Regnet är uppbyggt av blockregn som vardera har en varaktighet på 5 min. Regnet som har konstruerats pågår mellan klockan 9:00 och 15:00, därav har Figur 13 och Figur 14 nedan givits samma tidsaxel. En klimatfaktor på minst 1.25 rekommenderas av Svenskt Vatten (2016) för regn med varaktighet på mindre än en timme. För regn med längre varaktighet, upp till ett dygn, bör en klimatfaktor väljas på minst 1.2. I denna utredning används en klimatfaktor på 1.25.

För att förkorta tiden som simuleringarna tar, inkluderas inte hela regnet i simuleringarna, något som rekommenderas av MSB (2014). Det regn som inkluderas är 2.5 timmar av den mest intensiva perioden. Perioden är den mellan klockan 11:15 och 13:45. Regnet skapas så att regnet som faller på de celler som består av hårdgjorda ytor har en viss intensitet och regnet som faller på grönområden en annan. Anledningen till skillnaden i intensitet är för att ledningsnätet förväntas omhänderta en del av den nederbörd som faller på hårdgjorda ytor. Därmed görs ett avdrag från regnet.

Regnet som faller på celler som består av grönområden har en maximal intensitet på cirka 3.7 mm/min (220 mm/h). Den förkortningen som görs av regnet innebär att 24 % av den totala nederbördsvolymen som faller på grönområden inte inkluderas i beräkningarna. Tiden som simuleras är som nämnts den mellan klockan 11:15 och 13:45.

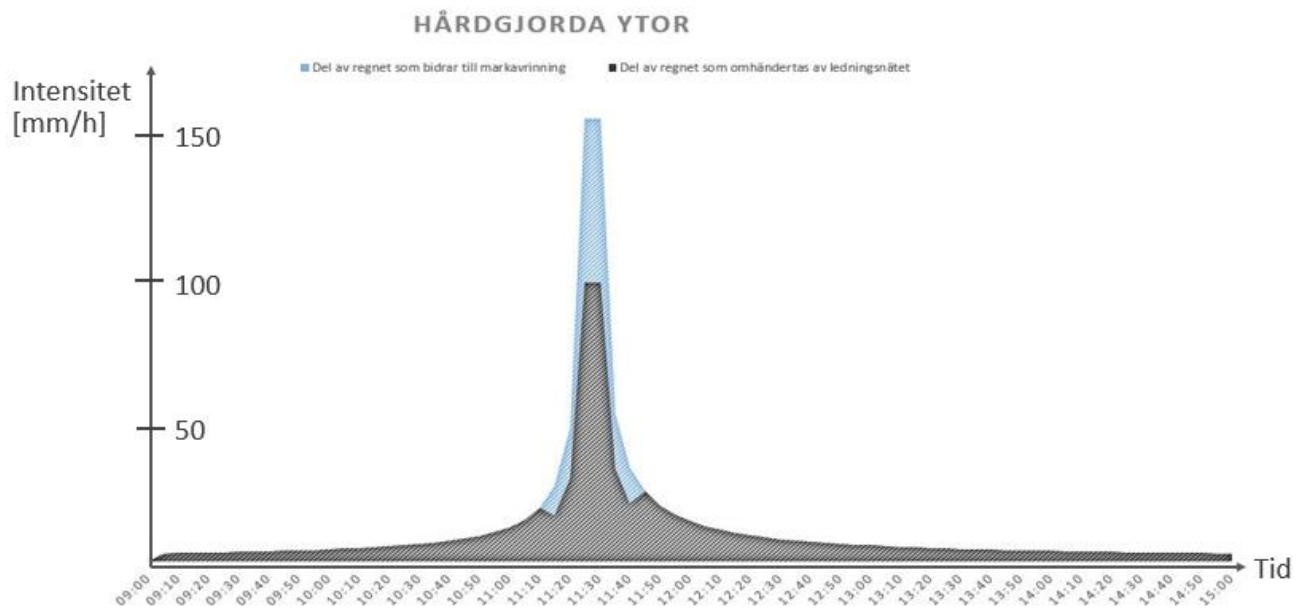
Förhållandet mellan tiden innan intensitetsmaximum (t_f) och regnets totala varaktighet (T), d.v.s. r -värdet på regnet har satts till 0.4. Den totala varaktigheten (T) är 360 minuter och t_f till 140 minuter. Intensitetsmaximum äger rum under 10 minuter vilket ger t_e ett värde på 210 minuter.



Figur 13 – Figuren illustrerar CDS-regnet som simuleras över grönområdena i Bjuvs tätort.

Regnet som faller på hårdgjorda ytor har ett lägre intensitetsmaximum eftersom ledningsnätavdrag görs. Den maximala intensiteten är 2.6 mm/min (155 mm/h). Det blåa området i Figur 14 symboliserar den del av regnet som bidrar till markavrinning och det svarta område i samma bild är det som tas upp av ledningsnätet.

För ledningsnätet har två avdrag gjorts, ett schablonmässigt avdrag för mindre flöden som ledningsnätet förväntas kunna omhänderta och ett dynamiskt avdrag. Det dynamiska avdraget görs för den tiden som ledningsnätet inte kan omhänderta flödena från de hårdgjorda ytorna, mellan klockan 11:15 och 11:45. Avdraget är gjort med ett CDS-regn med återkomsttiden 5 år och varaktigheten 6 timmar. Återkomsttiden på 5 år betecknar kapaciteten som ledningsnätet i Bjuv kan omhänderta, rapporten av Tyréns (2016) visar att 5 år är ett bättre val än branschstandardens som annars är 10 år. MSB (2014) föreslår att man gör ett schablonmässigt avdrag för den intensitet som ledningsnätet kan leda bort. Anledningen att även ett dynamiskt avdrag också gjorts är för att det på Tyréns har använts i liknande utredningar.



Figur 14 - Figuren illustrerar CDS-regnet som simuleras över de hårdgjorda ytorna i Bjuvs tätort. Den blå delen bidrar till ytavrinning medan den svarta delen illustrerar ledningsnätsavdraget.

4.3.5 Torr och blöt cell

I MIKE 21 definieras höjdvärden för vad som är en torr respektive blöt cell. Denna funktion, även kallad *Flood and Dry* i MIKE21, är till för att dynamiskt kunna beskriva områden inom modellen som ibland är översvämmade och ibland är torra. Genom att exkludera celler med ett lågt vattenstånd kan beräkningstiden för modellen ofta kraftigt reduceras. Funktionen bygger på att två tröskelvärden definieras. Det ena, h_{flood} , är en blöt cell och det andra, h_{dry} , är en torr cell. h_{flood} måste vara större än h_{dry} . (DHI, 2016b)

En översvämmad cell är en cell som i resultatfilen har ett större djup än noll, medan en torr cell kommer vara blank. Det behöver inte betyda att det inte finns något vatten i cellen utan vattennivån är bara för liten för att representeras.

I denna modelluppsättning antas h_{flood} och h_{dry} vara 0.008 och 0.01, respektive.

4.3.6 Infiltration

Infiltrations- och perkolationseffekterna i markzonen kan i MIKE21 beskrivas på två olika sätt:

- Nettoinfiltration
- Konstant infiltration med kapacitetsbegränsning

De båda beskrivs nedan under varsin rubrik, information är hämtad från DHI:s (2016a) användarguide *MIKE21HD*. I denna modelluppsättning antas *Konstant infiltration med kapacitetsbegränsning*.

Nettoinfiltration

På tre olika sätt kan nettoinfiltrationen beskrivas, den kan vara:

- Konstant över hela området, likaså konstant i tid
- Konstant i tid men varierande inom området
- Varierande i både tid och inom området

Den första punkten är en gravt förenklad bild av verkligheten. Den andra punkten kan liknas vid avrinningskoefficienten som behandlas i Svenskt Vatten. Den tredje punkten tar jordartsförhållanden och infiltrationskapacitet i omtanke. En sak som de tre har tillsammans är att den omättade zonen inte är specificerad och inte har några kapacitetsbegränsningar. Infiltration från cellen kommer inte upphöra så länge det finns tillräckligt med vatten i cellen (DHI, 2016b).

Konstant infiltration med kapacitetsbegränsning

DHI (2016) förklarar hur infiltrationen i MIKE 21 kan beskrivas från markytan till den omättade zonen och från den omättade zonen till mättade zonen. Modellen antar följande:

- Den omättade zonen modelleras som en infiltrationszon där porositeten är konstant genom hela cellen
- Flödet mellan markytan och infiltrationszonen är konstant
- Flödet mellan den mättade och omättade zonen, det vill säga utflödet från cellerna, är konstant

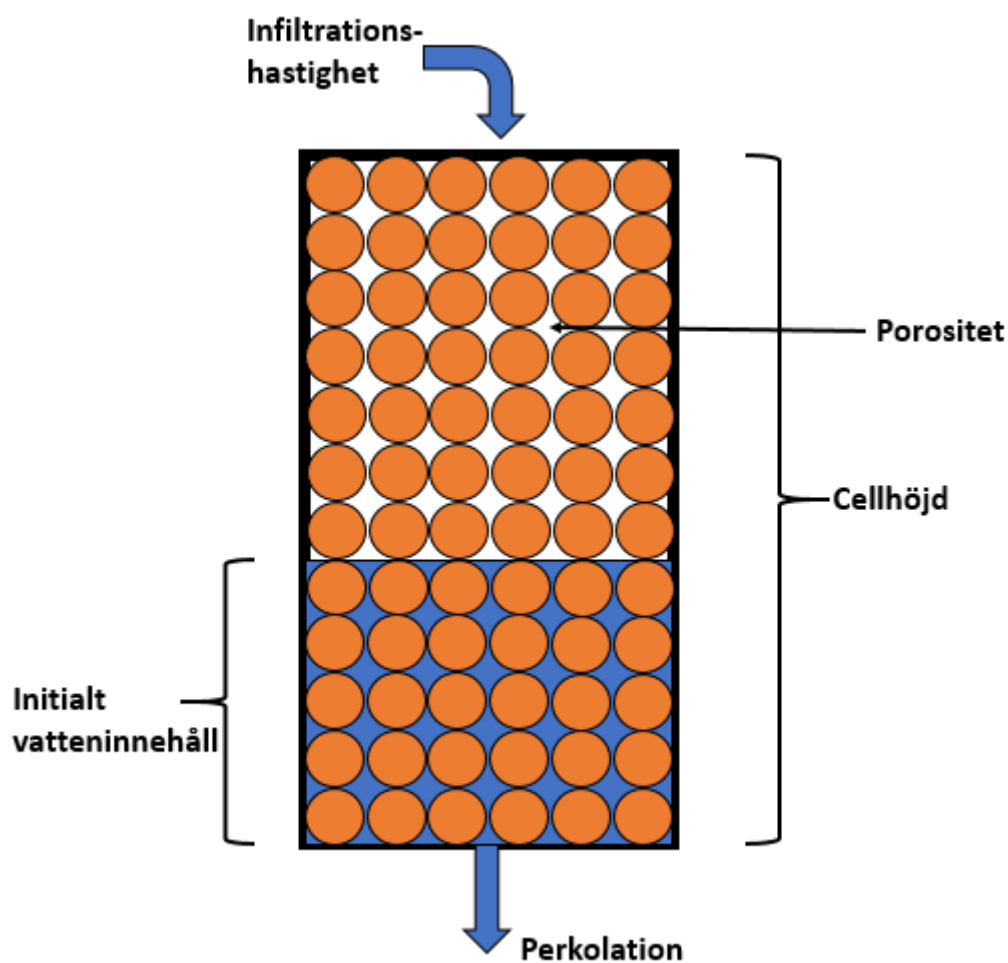
Vid modelluppbyggnaden måste två till parametrar klassificeras:

- Infiltrationszonens utsträckning måste definieras genom att ange djupet på varje cell
- Den initiala vattenvolymen i infiltrationszonen måste definieras. Det görs genom att beskriva vatteninnehållet räknat i volymprocent av kapaciteten.

En typ 2 datafil, vilken varierar i både tid och rum med fem olika in-parametrar måste alltså specificeras. In-parametrarna är följande:

1. Infiltrationshastighet
2. Porositeten av infiltrationszonen
3. Djupet på varje cell
4. Perkolationshastigheten
5. Det initiala vatteninnehållet i infiltrationszonen

De beskrivs nedanför under varsin rubrik och illustreras även i Figur 15. Det är på detta sätt som infiltration har valts att beräknas i rapporten. Som står förklarat i DHI (2016) skapas genom denna förenkling en vertikal kontinuitetsekvation. Denna löses för varje tidssteg efter det att de två-dimensionella horisontella flödesekvationerna har lösts.



Figur 15 - Illustration av infiltrationsuppsättningen i MIKE 21

Infiltrationshastighet

Den omättade zonen är angiven som infiltrationszon. Infiltration kan ske så länge cellen inte är vattenfylld. Infiltrationshastigheten varierar beroende på vad för jordart som cellen representerar. Ytor som klassificeras som hårdgjorda kommer inte ha någon infiltration.

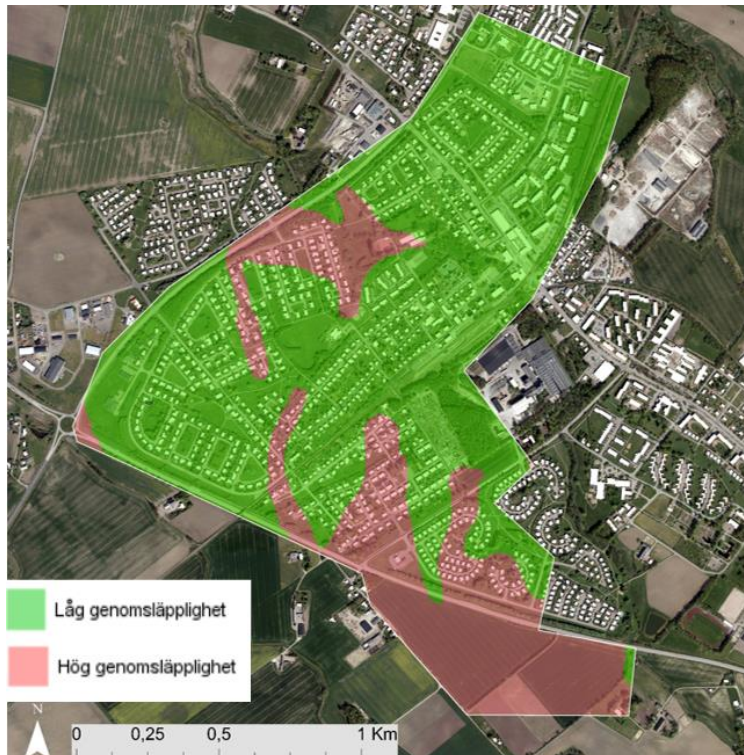
Det kan inte ske något flöde mellan cellerna under ytan och därför kommer inte det spela någon roll för markavrinningen vad de andra in-parametrarna har för värde om det inte sker någon infiltration från ytan. Infiltrationsflödet kan aldrig överstiga mängden vatten som befinner sig ovan cellen. Om vattenkapaciteten i infiltrationszonen uppnår sin fulla kapacitet, kommer ingen infiltration ske (DHI, 2016b).

I Tabell 5 presenteras permabilitetsvärden för ett antal jordarter och kornfördelningar.

Tabell 5 – Permeabilitetsvärden för ett antal jordarter och kornfördelningar (Fagerström & Wiesel, 1972)

Jordart	Permeabilitet [mm/h]
Moräner (välgraderad jord)	
Grusig morän	0.36 - 36
Sandig morän	0.036 - 3.6
Siltig morän	0.0036 – 0.36
Lerig morän	0.00036 – 0.036
Moränlera	0.000036 - 0.0036
Sediment (engraderad jord)	
Fingrus	3 600 – 360 000
Grovsand	360 - 36 000
Mellansand	36 – 3 600
Finsand	3.6 – 360
Grovsilt	0.36 – 36
Mellansilt-finsilt	0.036 – 3.6
Lera	< 0.0036

Bjuvs tätort består till stor del av jordarter med höga halter av lera, vilket innebär att genomsläppligheten är låg, se figur 16 för kartering över genomsläpplighet (Adriellsson, et al., 1981).



Figur 16 Kartering över genomsläpplighetsförmågan i Bjuvs tätort enligt SGU. (SGU, u.d.)

Porositet

Porositet eller hålrumsvolym som det även kallas är den totala hålrumsvolymen dividerat med den totala jordvolymen. Den effektiva porositeten är den sammanhängande hålrumsvolymen som fordras för att vatten ska kunna tränga igenom ett jordmaterial. Den totala porositeten är som minst för de största kornfraktion och ökar sedan succesivt och är som störst för kornfraktionen ler. Porositeten för fraktionen sten 20 % respektive 70-75 % för ler. För de grövre kornfraktionerna som sand, grus och sten är porositeten och den effektiva porositeten relativt lika. För de mindre kornfraktionerna skiljer de sig båda markant från varandra (Svensson, 2011). I MIKE 21, skiljs det inte mellan effektiv porositet som porositet även fast skillnaderna som sagt kan vara stora.

Varje enskild cell antas ha beständig porositet genom hela cellen. Porositeten är inte kontinuerlig över området utan beror på vad för jordart som cellerna består av. Som nämns i avsnitt 3, *Geologiska förhållanden*, är det övre jordlagret i Bjuvområdet bestående av främst sand och mo. De båda sägs ha en effektiv porositet runt 30 % enligt Knutsson & Morfeldt (1978).

Celldjup

Värdet på celldjupet representerar djupet på varje cell. SGU:s undersökningar (Adriellsson, et al., 1981) visar att jordlagren över hela Bjuv har stora mäktigheter och inget berg i dagen existerar. Eftersom det även framgår av undersökningen att inga prover på grundare djup än 0.5 meter har gjorts, och därmed kan det inte avgöras på vilket djup jordlager med specifika hydrauliska förmågor existerar, har djupet bestämts vara homogent över området. Celldjupet har satts till 0.4 meter. Anledningen till att det är relativt djup är för att värdet på perkolationen, se nedan, ska kunna härledas till SGU:s undersökning.

Perkolation

Perkolation i MIKE 21 innebär läckaget från varje cell. För att kunna förklara grundvattenflöden och jordartsförhållanden på ett förenklat sätt har perkolation som en in-parameter implementerats i modellen. Perkolationen i varje cell beror på vad för jordart som den består av.

Initialt vatteninnehåll

Det saknas data för grundvattennivåer i Bjuv i SGU:s kartlager för grundvatten. Även då skillnader i vattenmättnad inom området kan förväntas, finns ingen data på vart grundvattennivån förekommer och till vilken omfattning.

Skyfall sker ofta på sommaren (MSB, 2014) då de övre jordlagren inte brukar innehålla mycket vatten. Därmed har värdet för det initiala vatteninnehållet satts till 20 % i hela området. Anledningen till att värdet sätts som homogent över hela området är p.g.a. informationsbristen.

4.3.7 Virvelviskositet

Virvelviskositet kan beskrivas på fyra olika sätt i MIKE 21:

- Ingen viskositet antas
- Konstant värde på viskositeten antas för varje cell
- Viskositeten beskrivs i en typ 2 fil där varje cell är definierad
- Viskositeten beskrivs dynamiskt genom Smagorinskys ekvation.

I denna modelluppsättning antas ett konstant värde på viskositeten på $1.0 \text{ m}^2/\text{s}$.

4.3.8 Råhet

Motstånd kan vid ytavrinningsmodellering på land beskrivas på två sätt i MIKE 21:

- Mannings tal, M
- Chezy nummer

För Mannings tal och Chezy nummer kan markens friktion beskrivas som ett konstant värde eller som typ 2 fil. I denna modelluppsättning beskrivs motstånd genom Mannings tal i 2D, där värdet på Mannings tal [$m^{1/3}/s$] för hårdgjorda ytor (vägar och tak) och gräsytor har valts till $50 m^{1/3}/s$ respektive $2 m^{1/3}/s$ då det använts av MSB (2014).

4.4 Begränsningar i modellen

I följande avsnitt sammanfattas de mest omfattande begränsningarna i användningen av modelleringsprogrammet MIKE 21.

4.4.1 Strukturer

Som nämns i avsnitt 1.3.2.1 inkluderar inte modelluppsättningen viadukter, vägtrummor och kulvertar. För att inte skapa instängda områden som avviker mot verkligheten har höjddata justerats manuellt.

4.4.2 Ledningsnätets kapacitet

MIKE 21 modellen som byggts upp i denna utredning har inte kopplats till något ledningsnät. En förenkling har istället utförts för att beskriva vad dess effekt, genom att göra ett schablonavdrag på hårdgjorda ytor med ett ledningsnät med viss kapacitet. Regnet som byggs upp består enbart, för hårdgjorda ytor, av överskottet som inte kan hanteras av ledningssystemet.

4.4.3 Upplösning

MIKE 21 begränsas av vilken upplösning av höjddata som används. Som tidigare nämnts i avsnitt 1.3.2 är upplösningen på denna modelluppsättning två meter. Vid modellering av höjddata med hög upplösning kan instabilitet uppstå i modellen. En höjddata med lägre upplösning kan möjligen minska instabiliteten i modellen.

4.4.4 Grundvattenflöden

MIKE 21 inkluderar inte grundvattenflöden. Således tas inte inströmnings- och utströmningsområden in i modellen.

4.4.5 Nederbörd

MIKE 21 tar inte hänsyn till flöden uppströms det definierade modelleringsområdet. Således tar modellen inte hänsyn till det regn som faller utanför modelleringsområdet, men som potentiellt skulle kunna ge upphov till ytavrinning inom modelleringsområdet.

Simuleringarna som är gjorda sker alla under en kort tid och tar inte hänsyn till om det inträffat några tidigare regn som förvärrar utfallet av det simulerade regnet.

4.4.6 Flöden utanför modelleringsområdet

Vid ytavrinningmodellering på land i MIKE 21 Flow Model, antas inga flöden fluktuera till och från modelleringsområdet. Med andra ord är randvillkoret att inget flöde sker in i- eller ut ur modelleringsområdet.

4.5 Applicerade öppna dagvattenlösningar i MIKE 21

Som nämnts i avsnitt 1.3.5 är de öppna dagvattenlösningar som valts ut att implementeras i MIKE 21 grundade på tre kriterier, de är:

1. Framtagna i litteraturstudier som implementerbara öppna dagvattenlösningar
2. Applicerbara MIKE 21
3. Av intresse för VA-huvudman NSVA och Bjuvs kommun

Följande fyra implementationer appliceras och analyseras i MIKE 21 och ligger till grund för de specifika åtgärder som tas fram som rekommendationer för Bjuvs tätort:

- Skapa sänkor i grönområden
- Framhäva eller skapa rinnvägar
- Skapa kantsten
- Skapa svackdiken

Följande åtgärder följer rekommendationerna av Svenskt Vatten (2011a) för öppen dagvattenhantering, se avsnitt 2.4. Att framhäva/skapa rinnvägar samt att skapa kantsten och svackdiken, läggs fokus på *trög avledning*. Målet är att leda vatten ut från tätorten på ett säkert sätt utan att skapa större förödelse. Att skapa sänkor i grönområden läggs fokus på *fördröjning nära källan* och *samlad fördröjning*. Här undersöks effekten av att skapa sänkor i grönområden i centrala områden samt att skapa en samlad fördröjning i utkanten av analysområdet.

När det gäller första kategorin i öppen dagvattenhantering, *lokalt omhändertagande*, är tanken att en avvattningsanalys som ingår i känslighetsanalysen (se avsnitt 2.4), ska avspegla vad fastighetsägare kan göra för att förebygga översvämningar. I denna analys bortses avvattning från hustak. Tanken är att undersöka effekten av om samtliga fastigheter ansluter sina stuprännor till regntunnor.

5 Resultat

Detta avsnitt är indelat i tre delar och syftar till att presentera den ytavrinningsmodellering som gjorts över Bjuvs tätort. I första delen presenteras de metoder som används för att analysera översvämningsutfall. I andra delen redogörs för känslighetsanalyser (tidigare nämnts i avsnitt 1.3.4). Tredje delen presenterar resultatet för ytavrinningsmodelleringen över Bjuv tätort med fokus på två områden (se avsnitt 4.5 för implementationer i ytavrinningsmodellen).

5.1 Metoder för att analysera översvämningsutfall

I detta examensarbete används tre metoder för att analysera en ytavrinningsmodell. Den första metoden är att ta fram ett maxkarterat översvämningsdjup för hela simuleringsförloppet. På så sätt får man i ett och samma kartlager samtliga cellers maxvärde på vattendjup, oberoende av när under översvämningsförloppet detta inträffar. Den andra metoden är att kartera vilka fastigheter som enligt framtagna definitioner löper stor risk att blir översvämmade. Den tredje metoden är att studera flödesriktning och -magnitud för olika tidssteg under simuleringsförloppet. På så sätt kan rinnvägar studeras och därmed kan vattnets väg genom hela förloppet studeras. Den andra metoden, definiering och kartering av översvämmade fastigheter förklaras djupare nedan. Den första och sista metoden används främst för att ta fram lämpliga implementationer för att förebygga översvämnings. Kartläggning av antal översvämmade fastigheter används som metod för att bedöma konsekvensen av ett skyfall.

5.1.1 Definiering och kartering av översvämmade fastigheter

Sökning för att kartera fastigheter som löper stor risk för att drabbas av marköversvämnings görs i FME. Två definitioner har tagits fram för när en fastighet klassas som översvämmad och presenteras nedan. Dessa två definitioner är kopplade till det maxkarterade översvämningsdjupet som tas fram för hela simuleringsförloppet. Det innebär mer ingående att man tar fram en sammanhängande area för celler som är inom ett definierat intervall för vattendjup. Detta vattendjup kan uppstå i olika tidssteg och behöver inte inträffa samtidigt.

I detta examensarbete består analysområdet, som tidigare nämnts i avsnitt 3.6, av 723 fastigheter, 50 av dessa fick marköversvämnings den 15 juni 2016 enligt uppgifter från NSVA.

Definition 1

En fastighet klassas som översvämmad när:

- vattendjupet är 0.1 – 0.3 m
- den sammanhängande arean på vattenytan är $> 200 \text{ m}^2$
- avståndet från fastigheten till vattenytan är $\leq 0.5 \text{ m}$

Definition 2

En fastighet klassas som översvämmad när den har:

- vattendjupet är $> 0.3 \text{ m}$
- den sammanhängande arean på vattenytan är $> 50 \text{ m}^2$
- avståndet från fastigheten till vattenytan är $\leq 3 \text{ m}$

5.1.2 Prioritering mellan översvämningar

För att skapa effektiva lösningar sett till kostnadsminskning per investerad krona måste en värdering av olika delområden utföras. Olika bebyggelsestruktur ges olika viktning, med eftersom bebyggelsestrukturen i analysområdena är överhängande homogen, har ingen skillnad mellan byggnader införts för analys.

Messner m.fl. (2007) beskriver hur kopplingen mellan skadekostnad beroende på skadetyper och vattendjup kan göras. Sådana sammanhang beskrivs oftast med så kallade "flood damage curves". Det har inte tagits fram för Sverige men existerar i Storbritannien och Tyskland.

I denna rapport förekommer ingen separation mellan skadetyper eller vattendjup, alla översvämningar ges därför samma vikt.

5.2 Känslighetsanalys

Nedan förklaras och presenteras fyra känslighetsanalyser som ligger till grund för den modelluppsättning som görs över Bjuvs tätort. I varje fall presenteras de ändringar som görs i uppsättningen, annars består uppsättningen för modellen av de antaganden som presenteras i avsnitt 4.3. Se bilaga A för sammanfattad modelluppsättning. I Tabell 6 presenteras infiltrationsanalysen. Den infiltrationsmodul som tas fram från denna analys används sedan i övriga tre analyser: skyfallsanalys, avvattningsanalys och ledningsnätanalys.

5.2.1 Infiltrationsanalys

I infiltrationsanalysens läggs fokus på fyra olika fall. Resultatet från infiltrationsanalysen ligger till grund för den infiltrationsmodul som används i kommande tre känslighetsanalyser, presenterade i kommande avsnitt. Infiltrationsmodulen som används i ytavrinningsmodellen över Bjuvs tätort är även framtagen från denna analys. Eftersom osäkerhet förekommer hos alla de 5 parametrarna som infiltrationen byggs upp av, har värdet för porositeten, vattenmättnaden och mäktigheten valts att beräknas som konstant för de 4 fallen. Detta gjordes då information om de 3 parametrarna var enklare att finna och resonemang om framtagandet av värdet på dem kunde föras. Det förenklar även förandet av ett resonemang om infiltrationsvärdet och perkolationsvärdet.

Tabell 6 visar de infiltrationsuppsättningar som jämförs i denna känslighetsanalys. I fall 1 och fall 2 jämförs två infiltrationshastigheter, 72- respektive 36 mm/h. I fall 2, fall 3 jämförs perkolationen, där fall 3 fått perkolationsvärde 3.6 mm/h över områden SGU karterat som lera och 36 mm/h över områden karterat som sand och grus. I fall 4 sätts infiltrationen till 36 mm/h, men har samma perkolationsvärden som i fall 3.

Tabell 6 Infiltrationsuppsättning för känslighetsanalys över Bjuvs tätort.

	Infiltration * (mm/h)	Mäktighet (m)	Porositet (-)	Perkolations (mm/h)**	Vattenfyllnad (%)
<i>Fall 1</i>	36	0.4	0.3	0.4	20
<i>Fall 2</i>	72	0.4	0.3	0.4	20
<i>Fall 3</i>	72	0.4	0.3	Låg genomsläpplighet: 3.6 Hög genomsläpplighet: 36	20
<i>Fall 4</i>	36	0.4	0.3	Låg genomsläpplighet: 3.6 Hög genomsläpplighet: 36	20

* Infiltrationen är 0 mm/h över hårdgjorda ytor

** Områden med hög/låg genomsläpplighet i modelleringsområdet presenterade i Figur 16

Analys av marköversvämmade fastigheter enligt framtagna definition ger följande resultat för infiltrationsanalysen, se Tabell 7.

Tabell 7 Resultat för infiltrationsanalys över Bjuvs tätort; översvämmade fastigheter enligt framtagna definition samt volymprocent infiltration av totalnederbörd.

Känslighetsanalys	Översvämmade fastigheter	Volymprocent infiltration av total nederbörd (%)
<i>Fall 1</i>	121	55
<i>Fall 2</i>	71	79
<i>Fall 3</i>	69	70
<i>Fall 4</i>	120	58

Infiltrationsmodul från fall 4 har valts ut som den modul som ska beskriva ytavrinningsmodelleringen över Bjuvs tätort före och efter implementering. Denna infiltrationsmodul har valts dels för att det finns anledningar att tro att infiltrationen överskattas i fall 2 och 3, avseende antal översvämmade fastigheter, se Tabell 7. Fall 4 har även valts för att den i perkolationen avspeglar SGU:s kartering över jordarter i Bjuvs tätort. Infiltrationsmodul från fall 4 används i kommande känslighetsanalyser presenterade nedan.

5.2.2 Skyfallsanalys

Klimatanpassning är något som de senaste åren fått ett större fokus bland kommuner runt om i Sverige. Skyfallssimuleringar har därmed fått en mer central roll i planering och anpassningsarbetet. Enligt DHI (MSB, 2015) används ett 100-årsregn i de flesta rapporter som berör skyfallsanalys.

I denna skyfallsanalys jämförs utfallet av ett 100-årsregn med ett 200-årsregn före vidtagna åtgärder. Nedan i Tabell 8 presenteras antalet fastigheter som drabbas av marköversvämmning enligt framtagna definition samt volym nederbörd efter ledningsnätsavdrag för respektive fall.

Tabell 8 Antalet fastigheter som drabbas av marköversvämning i Bjuvs tätort enligt framtagen definition samt nederbörd efter ledningsnätsavdrag för ett 100- och ett 200-årsregn

	Nederbörd efter ledningsnätsavdrag	Antal översvämmade fastigheter
100-årsregn före åtgärder	152 651 m ³ (65 mm)	120
200-årsregn före åtgärder	195 131 m ³ (83 mm)	191

Jämför man utfallet av ett 100-årsregn med ett 200-årsregn där man i båda fall har dragit av ett ledningsnät dimensionerat för 5 år, blir antalet fastigheter som drabbas av marköversvämning enligt framtagen definition 120 respektive 191, vilket motsvarar en ökning med 59 %. Jämför man vidare nederbörd efter ledningsnätsavdrag ger 200-årsregnet en volymökning med 29 %.

5.2.3 Avvattningsanalys på privat mark

Avvattningsanalys på privat mark syftar till att undersöka utfallet av vad den enskilda fastighetsägaren kan göra för att reducera risken för översvämningar. I denna analys jämförs effekten av en minskad avvattning från hustak från privat mark. Tanken är att undersöka om användning av vattentunnor i stora skalor kan reducera översvämningar vid skyfall.

I båda fallen har ett skyfall i form av ett 100-årsregn applicerats på ytavrinningsmodellen. För att avspegla en minskad avvattning från hustak har regnet i typ 2-fil modifierats till att ge en regnintensitet med värde noll över hustak under hela regnets varaktighet. Nedan i Tabell 9 presenteras antalet fastigheter som drabbas av marköversvämning enligt framtagen definition samt nederbörd efter ledningsnätsavdrag för respektive fall.

Tabell 9 Antalet fastigheter som drabbas av marköversvämning i Bjuvs tätort enligt framtagen definition samt nederbörd efter ledningsnätsavdrag för nollalternativ och när ingen avvattning sker från bostadshus.

	Nederbörd efter ledningsnätsavdrag	Antal översvämmade fastigheter
Nollalternativ	152 651 m ³ (65 mm)	120
Ingen avvattning på bostadshus	146 204 m ³ (62 mm)	99

Genom att anta att ingen avvattning sker från bostadshus minskas antalet översvämmade fastigheter från 120 till 99, vilket motsvarar en reducering med ca 18 %.

5.2.4 Ledningsnätsanalys

I Bjuv beräknas inte ledningsnätet kunna tillhandahålla ett 10-årsregn, det antas istället ha en kapacitet på 5 år. Känslighetsanalysen för ledningsnätet går ut på att se vad effekterna är av att räkna bort ett 10-årsregn på ett 100-årsregn och jämföra det med nollalternativet att räkna bort ett 5-årsregn. Nedan i Tabell 10 presenteras antalet fastigheter som drabbas av marköversvämning enligt framtagen definition för respektive fall.

Tabell 10 Antalet fastigheter som drabbas av marköversvämning i Bjuvs tätort enligt framtagen definition för modelleringsfall ledningsnätet är dimensionerat för ett 5-årsregn och ett 10-årsregn, respektive.

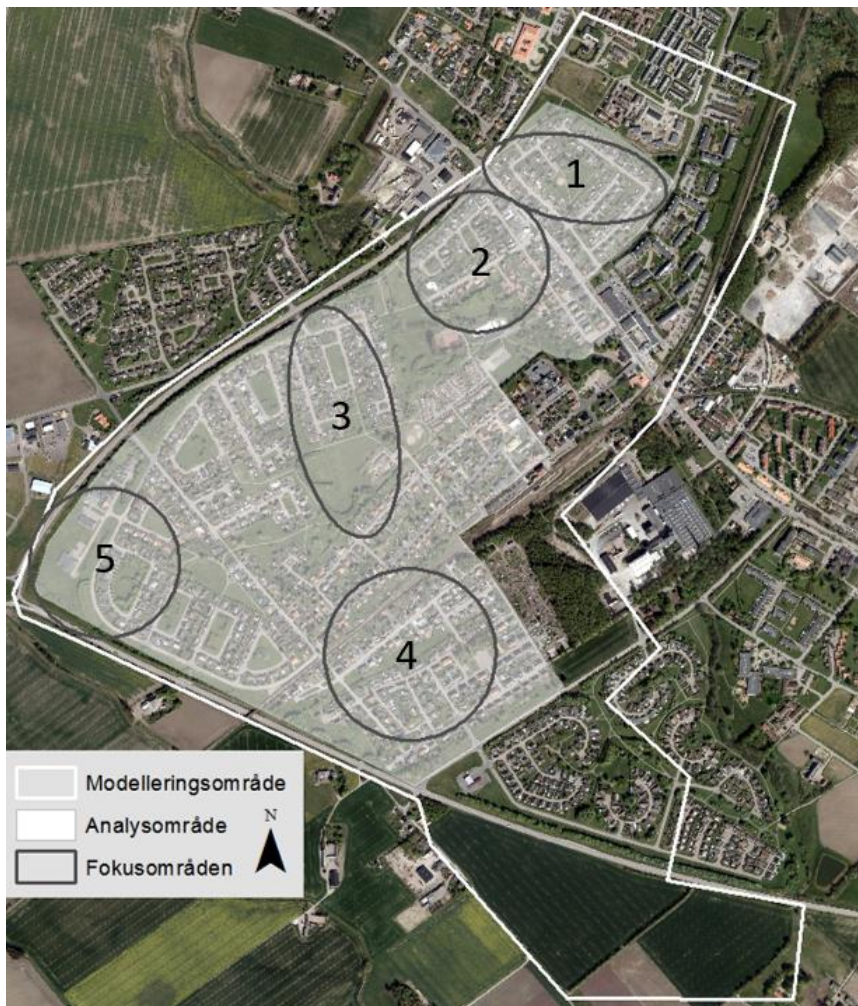
	Antal översvämmade fastigheter
5-års ledningsnät (nollalternativ)	120
10-års ledningsnät	105

Med ett ledningsnät dimensionerat för ett 10-årsregn reduceras antalet översvämmade fastigheter med 13 % jämfört med ett ledningsnät dimensionerat för ett 5-årsregn.

5.3 Resultat för ytavrinningsmodellering över Bjuvs tätort

I följande avsnitt redovisas de resultat som tagits fram i form av ytavrinningsmodell samt analys över översvämmade fastigheter före och efter implementation av öppna dagvattenlösningar.

5.3.1 Fokusområden i Bjuvs tätort



Figur 17 Modelleringsområde, analysområde och fokusområde för Bjuvs tätort.

Figur 17 visar modelleringsområde, analysområde samt fem stycken fokusområden som valt ut för implementeringar. Dessa fem fokusområden har varierande karaktär och har alla drabbats av kraftiga översvämningar, både vid simulering med ett 100-årsregn samt vid det skyfall som inträffade den 15 juni 2016. Den vita linjen symboliserar gränsen för simuleringsområdet. Inom detta område görs beräkningar för den dynamiska flödesmodelleringen i MIKE21. Södra, västra och norra linjedragningen följer avrinningsområdet utan hänsyn till eventuella kulvertar, ledningar etc. Den östra linjedragningen följer inte avrinningsområdet då dess utbredning är större. Det vita transparenta området symboliserar analysområdet där översvämningssutredningar och -utvärderingar genomförs. De fem fokusområden markerade i figuren har alla prioriterats i högre grad än det övriga analysområdet. De har tidigare drabbats av översvämningar i högre grad än angränsande områden.

Två av dessa fokusområden, område 2 och 3, redovisas i kommande avsnitt med översvämningdjup före och efter implementation, kartering över översvämmade fastigheter samt kartering över flödesvektorer. Analys och resultat för övriga områden, (1, 4 och 5), är sammanfattade i bilaga B.

5.3.2 Övergripande resultat för hela analysområdet

Analysområdet består, som tidigare nämnt i avsnitt 3.6, av 723 bostadshus, av dessa blev 50 drabbade av marköversvämningar den 15 juni 2016. När ett regn med 100 års återkomsttid simuleras på området drabbas 133 fastigheter av marköversvämningar enligt den definition som tagits fram för översvämning. Notera att detta är före vidtagna åtgärder. Efter åtgärdsimplementering översvämmas 36 fastigheter av samma regn. Gör man samma undersökning med ett regn med 200 års återkomsttid drabbas 100 fastigheter av översvämning efter implementation enligt framtagna definition. Detta bör jämföras med de 191 fastigheter som i skyfallsanalysen, i avsnitt 5.2.2, drabbas av marköversvämning vid ett regn med 200 års återkomsttid före några implementeringar är utförda. Se avsnitt 5.1.1 för framtagna definition för marköversvämning. Se Tabell 11 nedan för sammanställt resultat för antal översvämmade fastigheter före och efter implementeringar av öppna dagvattenlösningar.

Tabell 11 Sammanställt resultat för antal översvämmade fastigheter före och efter att öppna dagvattenlösningar har implementerats för hela analysområdet

	Antal fastigheter
Bostadshus i analysområde	386
Marköversvämning före åtgärder, 100-årsregn	74
Marköversvämning efter åtgärder, 100-årsregn	18
Marköversvämning före åtgärder, 200-årsregn	122
Marköversvämning efter åtgärder, 200-årsregn	55
Marköversvämning 15 juni	36

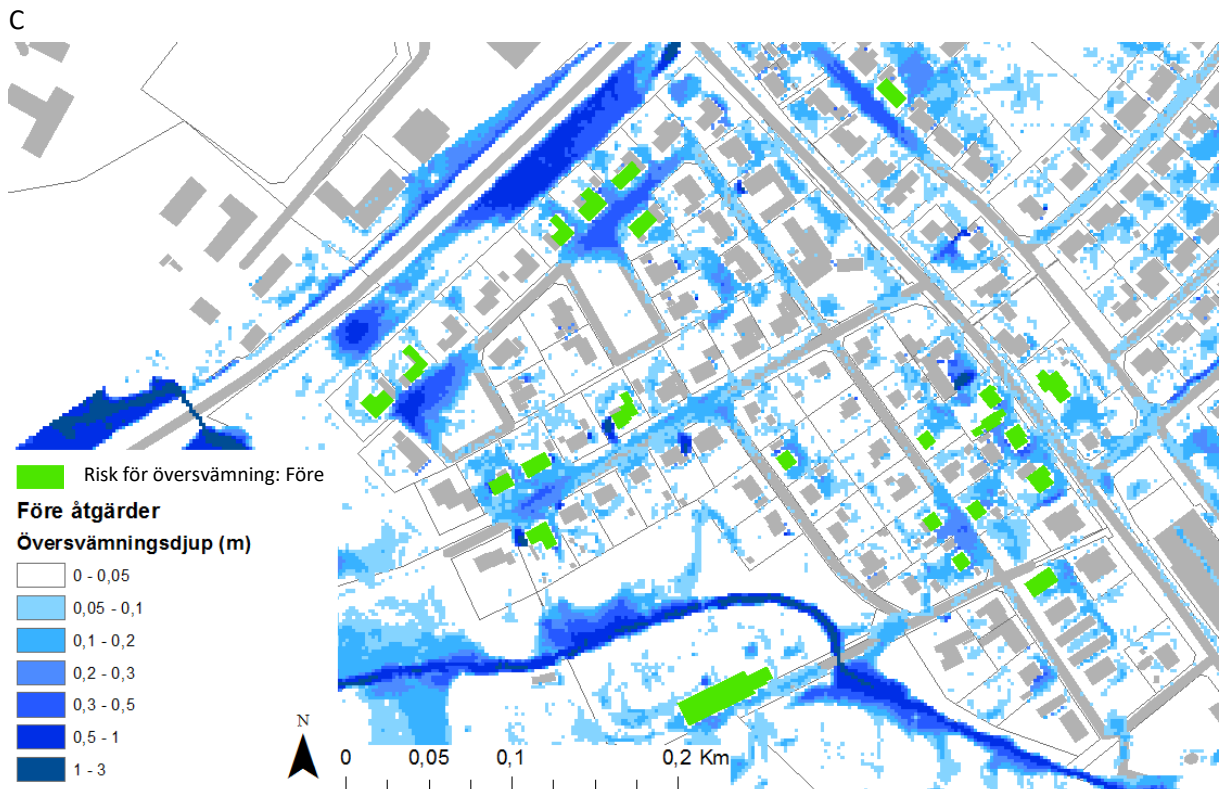
Antalet fastigheter i analysområdet som drabbas av marköversvämning enligt framtagna definition reduceras efter implementation av öppna dagvattenlösningar med ca 71 % vid ett regn med 100 års återkomsttid och med ca 48 % vid ett regn med 200 års återkomsttid.

5.3.3 Fokusområde 2

Fokusområde 2 består av de kvarter som ligger söder om Norra Storgatan och norr om Boserupsbäcken. I området finns 73 bostadshus där bland annat Kroksgatan och Mörarpsvägen ingår, se Figur 18. Figur 19 visar ett maxkarterat översvämningsdjup för ett 100-årsregn före implementation. Figuren visar även vilka fastigheter som enligt framtagna definition blir drabbade av marköversvämning.



Figur 18 Fokusområde 2 över Bjursås tätort



Figur 19 Maxkarterat översvämningsdjup före åtgärder för fokusområde 2

Figur 20 visar vilka åtgärder som vidtagits. Nedan sammanfattas de öppna dagvattenlösningar som implementerats, se Figur 22 och Figur 23 för flödesdjup och flödesriktning före och efter vidtagna åtgärder.

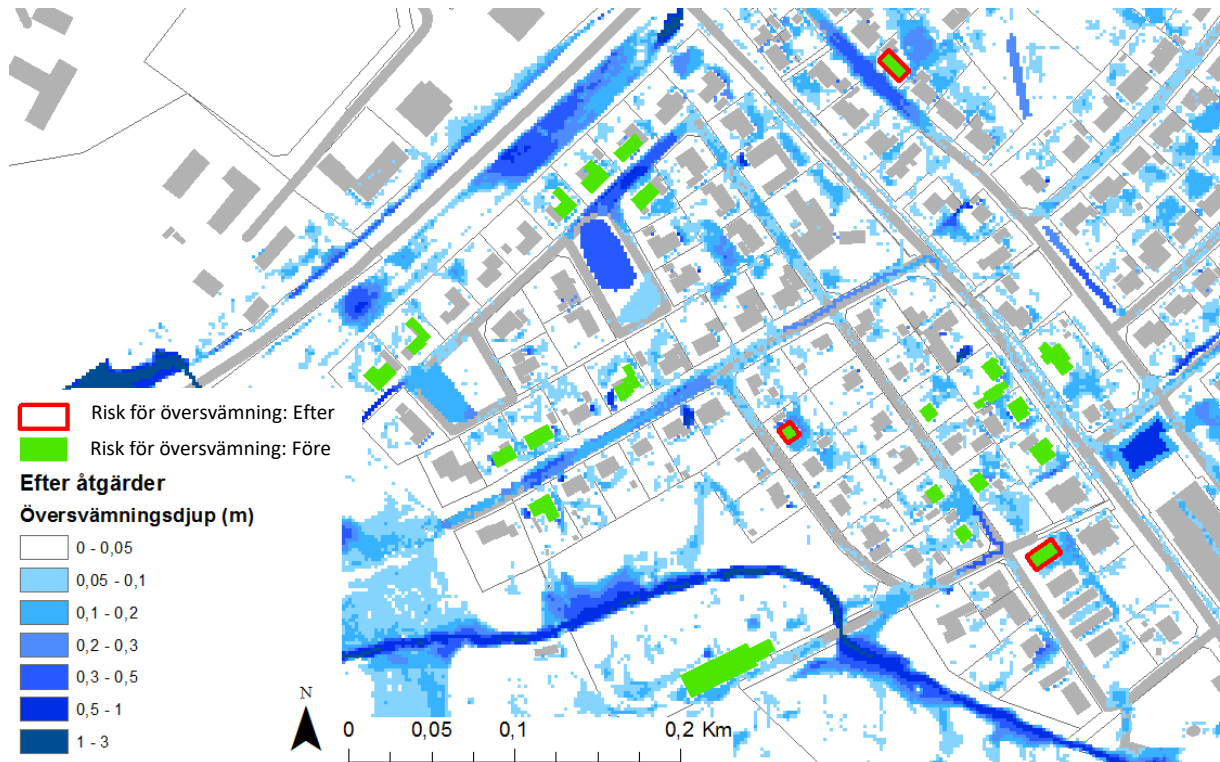
- En ca 780 m² grönyta anslutande Norra Storgatan har sänkts med 0.5 m och 1 meter för att fördröja vatten som rinner från områden belägna i nordost. Detta för att fördröja det vatten som kommer från nordost.
- Kantsten har implementerats längst med Norra Storgatan för att skapa en barriär mot vattnet som tidigare runnit över fastigheter söder om gatan.
- I mitten av område 2 har infarten från Storgatan utformats så att tillrinningen in till Mörarpsvägen har ökats och tillrinningen till Kroksgatan reducerats. På Mörarpsvägen har sedan en rinnväg skapats för att få vatten som tidigare flödat från gata till källare att ledas mot Boserupsbäcken. Höjdryggen som tidigare fanns på Mörarpsvägen vid gatans slut, innan cykel- och gångbanan, har tagits bort för att underlätta för vattnet att ta sig ut ur bostadsområdet.
- På Kroksgatan finns två instängda områden som enligt definition för marköversvämning förorsakat översvämning för totalt 6 fastigheter. En höjdrygg på 60 centimeter omöjliggör att sänka vägen mellan dessa två instängda områden och skapa en rinnväg ut mot Boserupsbäcken. Grönområdet i anslutning till det norra instängda området på Kroksgatan sänkts för att utnyttjats som tillfällig översvämningsyta. Grönområdet i slutet av Kroksgatan mot Boserupsbäcken har sänkts för att användas som tillfällig översvämningsyta. Gång- och cykelvägen som har sin början vid Kroksgatan och går vidare ned mot Boserupsbäcken, har

sänkts så att vattnet ifrån det tidigare instängda området kan ledas bort. Grönområdet har även här utnyttjats för att magasinera vatten vid kraftigare skyfall.



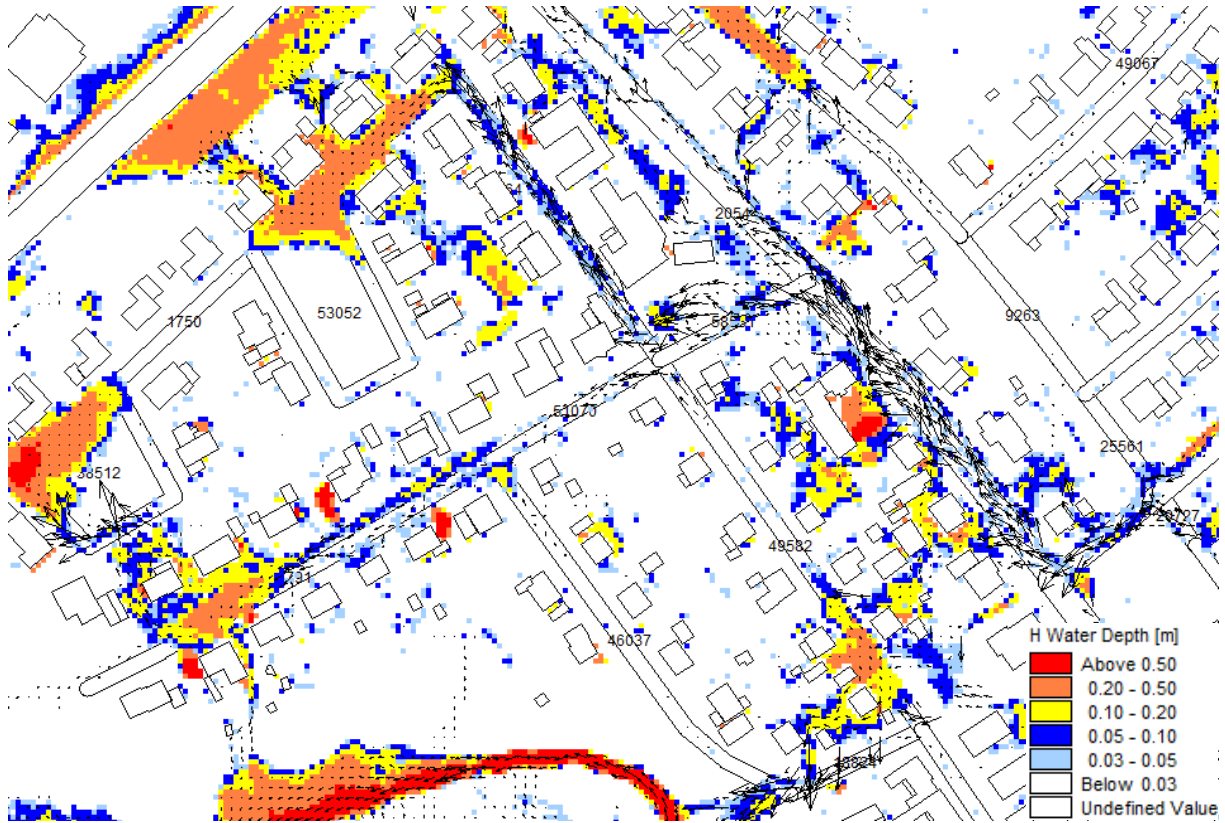
Figur 20 Implementerade öppna dagvattenlösningar för fokusområde 2

Figur 21 visar maxkarterad översvämningsdjup efter vidtagna åtgärder för ett 100-årsregn. Efter att öppna dagvattenlösningar har implementerats kvarstår marköversvämning på två fastigheter enligt framtagna definition. Av de tidigare 20 drabbade fastigheter, klarar sig nu ytterligare 18 fastigheter från marköversvämning enligt framtagna definition.

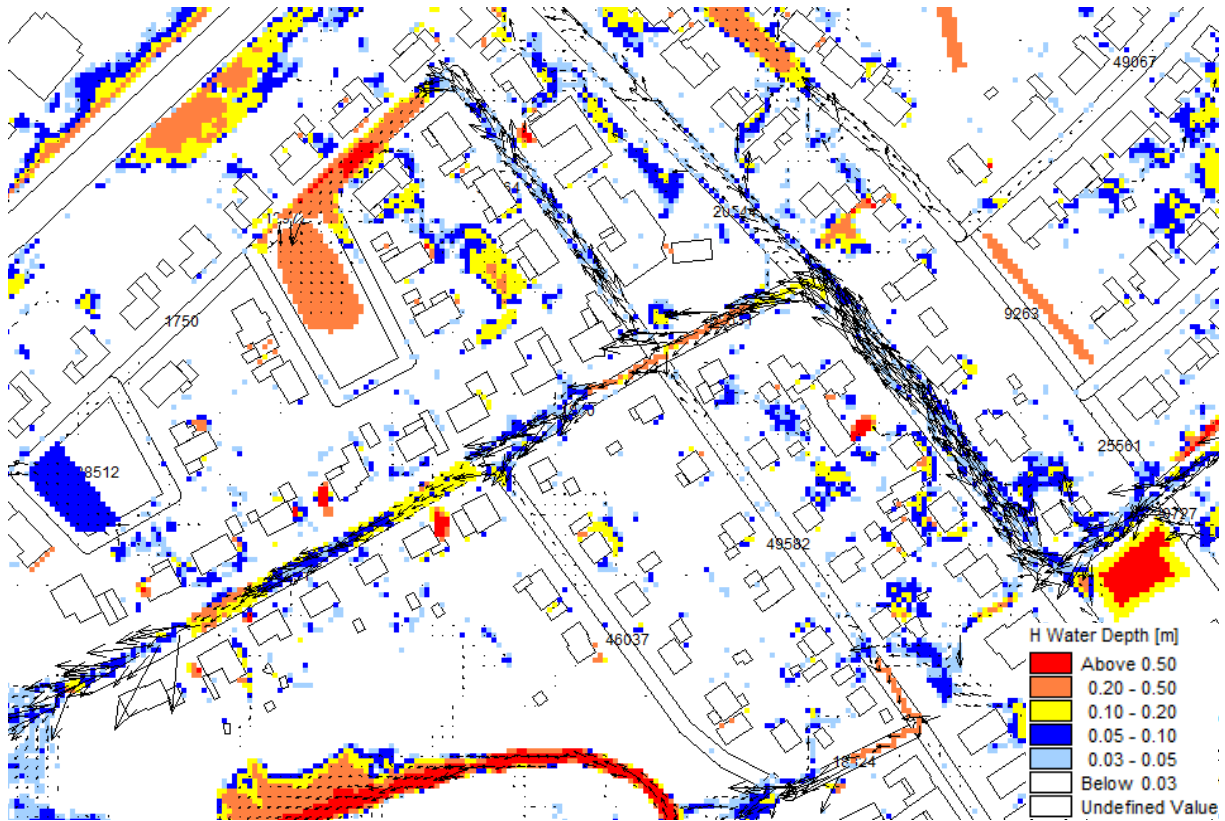


Figur 21 Maxkarterat översvämningsdjup efter åtgärder för fokusområde 2

Figur 22 och Figur 23 visar vattendjup och flödesvektorer 41 minuter efter regnets start före- respektive efter vidtagna åtgärder.



Figur 22 Översvämningsdjup och flödesvektorer 41 minuter efter regnets start före åtgärder för fokusområde 2



Figur 23 Översvämningsdjup och flödesvektorer 41 minuter efter regnets start efter åtgärder för fokusområde 2

Tabell 12 sammanställer resultat för antal översvämmade fastigheter före och efter vidtagna åtgärder för fokusområde 2.

Tabell 12 Sammanställt resultat för antal översvämmade fastigheter före och efter åtgärder för fokusområde 2.

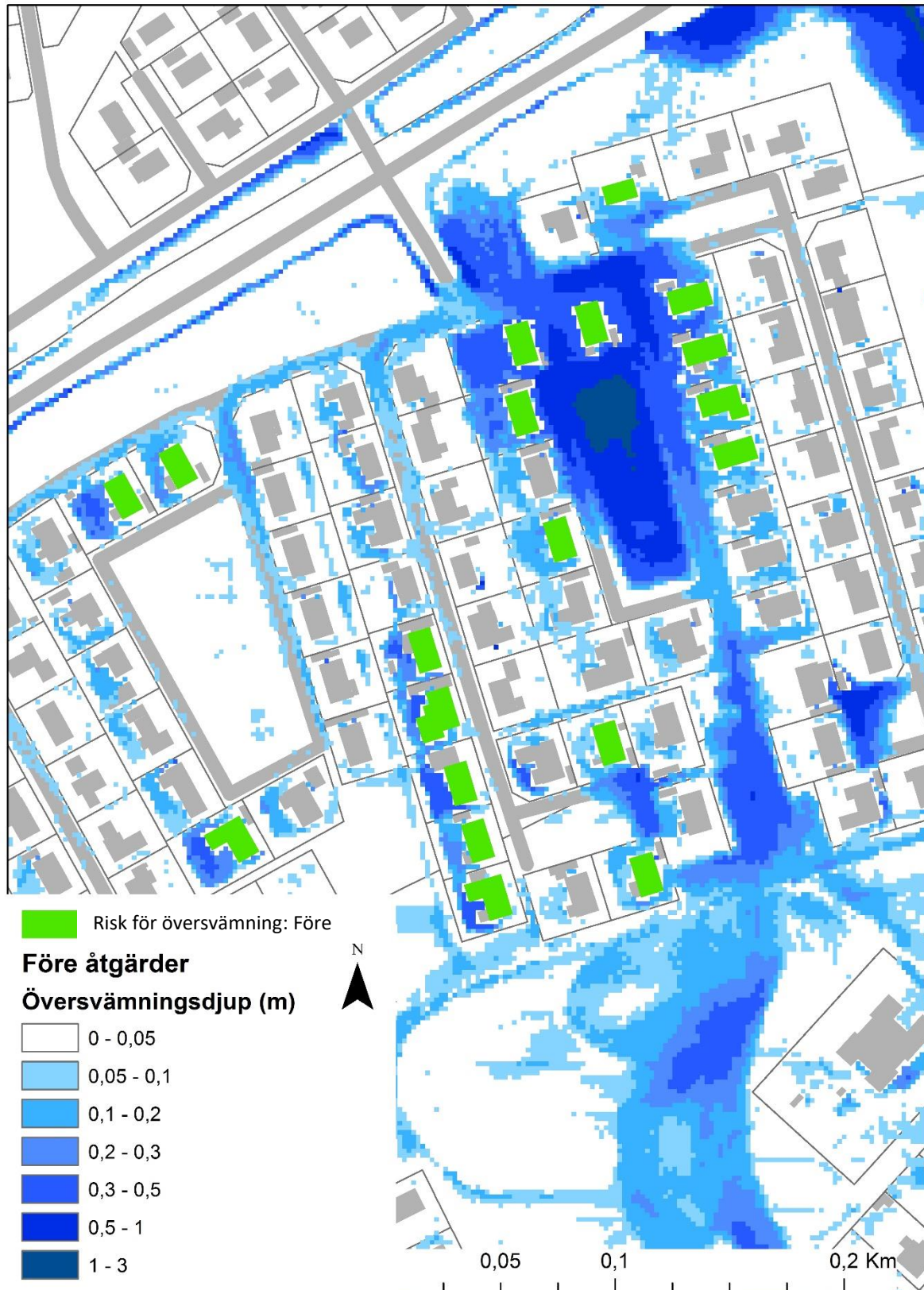
	Antal fastigheter
Bostadshus i fokusområde 2	73
Marköversvämning före åtgärder, 100-årsregn	20
Marköversvämning efter åtgärder, 100-årsregn	2
Marköversvämning före åtgärder, 200-årsregn	28
Marköversvämning efter åtgärder, 200-årsregn	10
Marköversvämning 15 juni	9

5.3.4 Fokusområde 3

Fokusområde 3 består av ett kvarter som ligger väster om Boserupsbäcken och söder om Norra vägen. Ett stort grönområde är beläget i södra delen av området. Området består av 61 bostadshus där bland annat Humlegatan och Villagatan ingår, se Figur 24. Figur 25 visar ett maxkarterat översvämningsdjup för ett 100-årsregn före implementation. Figuren visar även vilka fastigheter som enligt framtagna definition blir drabbade av marköversvämning.



Figur 24 Fokusområde 3 över Bjuvs tätort



Figur 25 Maxkarterat översvämningsdjup före åtgärder för fokusområde 3.

Figur 26 visar vilka åtgärder som vidtagits. Nedan sammanfattas de öppna dagvattenlösningar som har implementerats.

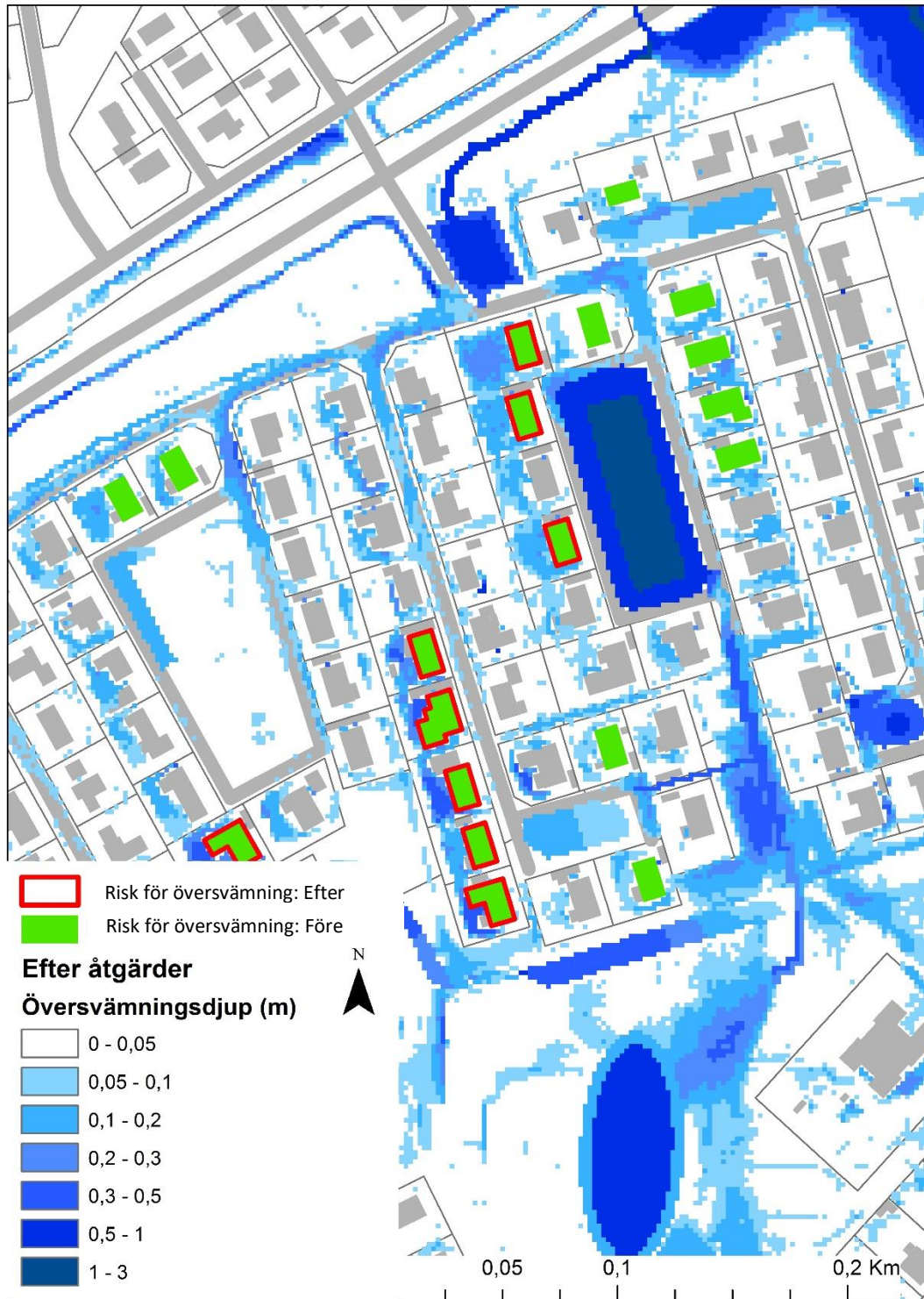
- En ca 3400 m² grönyta beläget i det stora grönområdet har sänkts med 0.5 m och 1 m för att fördröja stora vattenflöden som avrinner från områden söder om grönområdet.
- Vattnets väg från grönområdet till Humlegatan har förstärkts genom att en rinnväg har skapats. Detta är idag en befintlig rinnväg och tanken är att säkra denna rinnväg från att orsaka översvämningar.
- Ett ca 3900 m² grönområde på Humlegatan har sänkts ner 0.5 m samt 1 m för att fördröja och minska risken för utbredning till omkringliggande fastigheter.
- Kantstenar har skapats längs med Villagatan samt anslutande gator för att minska risken för att vatten tränger sig in mot anslutande fastigheter.
- En ca 870 m² grönyta har sänkts med 0.5 m och 1 m och ett svackdike har skapat i korsningen Villagatan/Norra Vägen för att kunna avleda vatten från Villagatan och dess omkringliggande kvarter.
- Övriga grönområden markerade i Figur 26 har sänkts för att kunna fördröja vatten och skapa tillfälliga översvämningsytor.



Figur 26 Implementerade öppna dagvattenlösningar för fokusområde 3

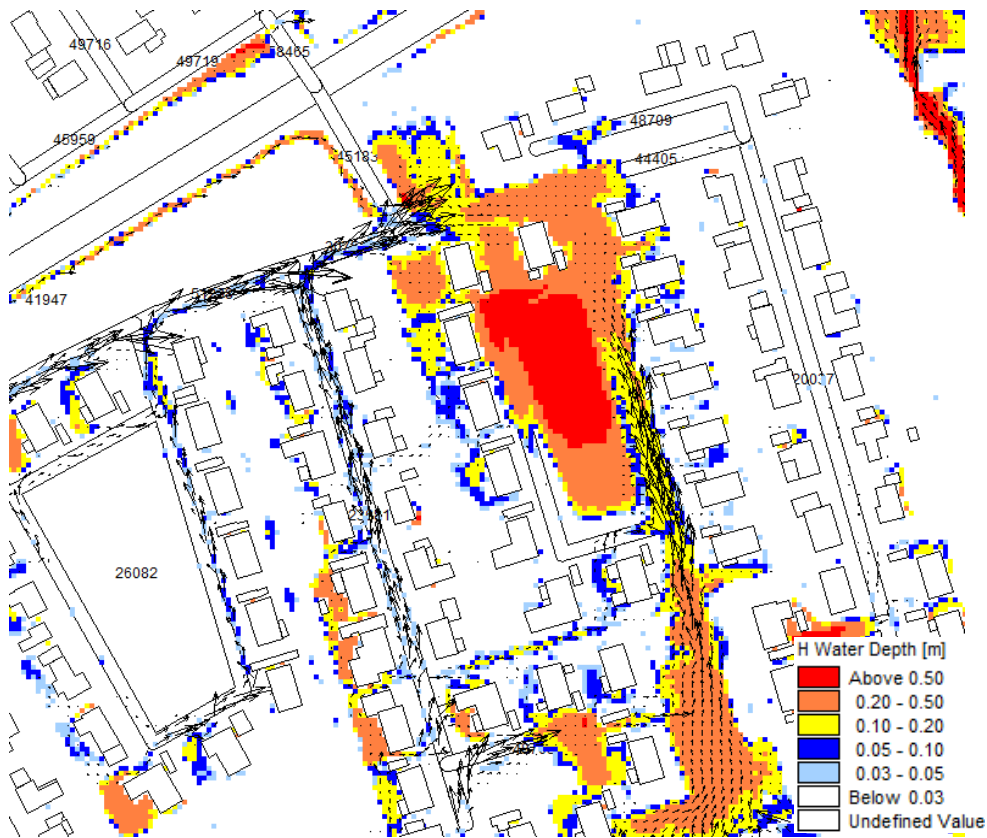
Figur 27 visar maxkarterad översvämningsdjup efter vidtagna åtgärder för ett 100-årsregn. Efter att öppna dagvattenlösningar har implementerats kvarstår 9 fastigheter drabbade av marköversvämmning

enligt framtagna definition. Av de tidigare 18 drabbade fastigheter, klarar sig nu 9 ytterligare fastigheter från marköversvämning.

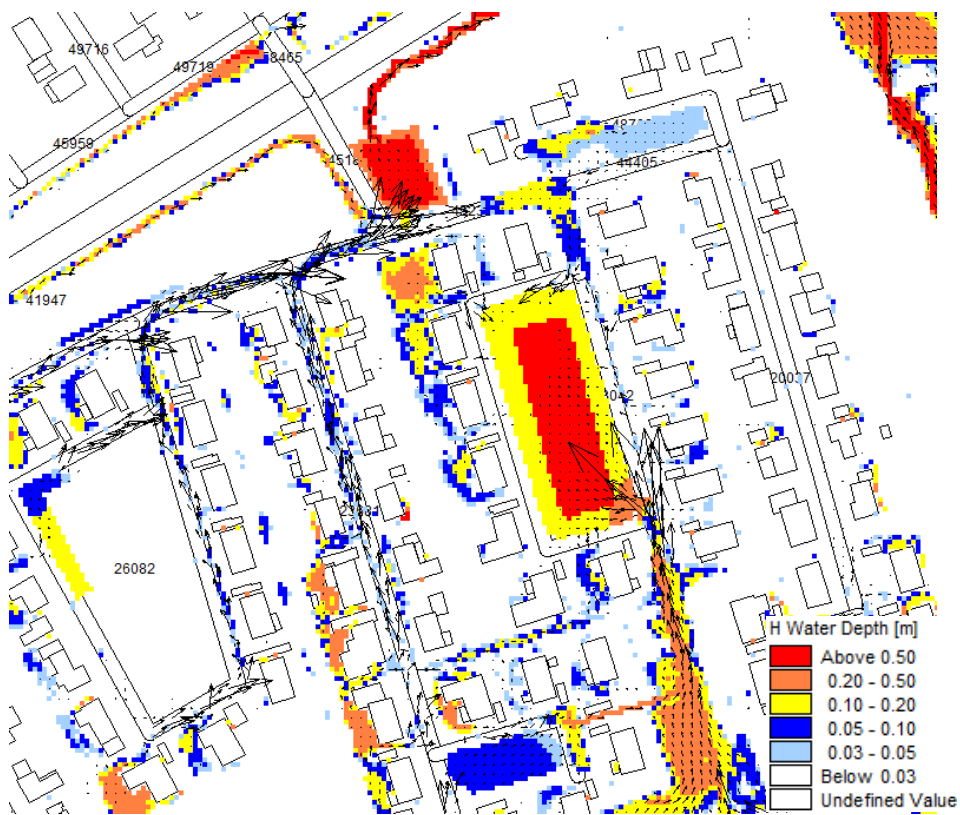


Figur 27 Maxkarterat översvämningsdjup efter åtgärder för fokusområde 3

Figur 28 och Figur 29 visar vattendjup och flödesvektorer 41 minuter efter regnets start före respektive efter öppna dagvattenlösningar har implementerats.



Figur 28 Översvämningsdjup och flödesvektorer 41 minuter efter regnets start före åtgärder för fokusområde 3



Figur 29 Översvämningsdjup och flödesvektorer 41 minuter efter regnets start efter åtgärder för fokusområde 3

Tabell 13 sammanställer resultat för antal översvämmade fastigheter före och efter åtgärder utförda i fokusområde 3.

Tabell 13 Sammanställt resultat för antal översvämmade fastigheter före och efter åtgärder för fokusområde 3.

	<i>Antal fastigheter</i>
Bostadshus i fokusområde 3	67
Marköversvämning före åtgärder, 100-årsregn	16
Marköversvämning efter åtgärder, 100-årsregn	8
Marköversvämning före åtgärder, 200-årsregn	26
Marköversvämning efter åtgärder, 200-årsregn	14
Marköversvämning 15 juni	8

6 Diskussion

6.1 Resultat

6.1.1 Känslighetsanalys

Nedan diskuteras de fyra känslighetsanalyserna; Infiltrationsanalys, skyfallsanalys, avvattningsanalys på privat mark och ledningsnätsanalys.

Infiltrationsanalys

Infiltrationsanalysen har visat att infiltrationen är en kritisk parameter för modellresultatet. Skillnaden i antal översvämningar mellan fallen med störst skillnad är 52 stycken. Jämför 121 översvämningar för fall 1 och 69 stycken för fall 3, se Tabell 6. Skyfallet som drabbade Bjuv den 15 juni 2016 hade en kortare återkomsttid än det regn som använts i simuleringen. Regnet den 15 juni orsakade marköversvämning för 50 bostäder, ett antal som inte underskreds av någon av de fyra studerade fallen, se avsnitt 5.2.1. Därmed kunde inget fall direkt avfärdas som orealistiskt. Översvämningsresultatet kan dock lätt underskattas såväl som överskattas genom osäker infiltrationsuppsättning i modellen. Detta eftersom det inte finns någon data att jämföra med.

Det är två faktorerna som kombineras och jämförs med varandra är infiltrationsvärdena och perkolationsvärdena, se avsnitt 5.2.1. Resultatet antyder att det är värdet på infiltrationen som är det mer kritiska av de två då det ger störst utslag i antal översvämmade fastigheter. Det beror troligtvis på att cellerna endast blir vattenmättade på ett fåtal platser och det är först då som perkolationen kan ge utslag. Av de två infiltrationsvärdena 36 mm/h och 72 mm/h verkar det förstnämnda ge ett mer realistiskt resultat medan den andra tycks överskatta infiltrationen, om man jämför hur många fastigheter som översvämmades den 15 juni 2016. Därav valet av 36 mm/h. Av perkolationsvärdena som ställdes mot varandra var ett uppbyggt av en förenkling av SGU:s jordartskartering. Anledningen att förenklingen gjorts beror på att när SGU utförde mätningarna var det minsta provtagningsdjupet 0.5 meter. Celldjupet i infiltrationsmodellen är endast 0.4 meter. Det övre jordlagret anses också varit utsatt av åtgärder av väder, vind, människor och djup vilket har gjort det mer varierande än SGU:s kartering av de undre lagren. Det andra perkolationsvärdet i analysen var 0.4 mm/h och kontinuerligt över hela området. Eftersom SGU:s undersökning tyder på en variation i infiltrationskapacitet i de underliggande jordlagren har valet att delvis följa karteringen gjorts. Därav valet av fall 4 i avsnitt 5.2.1.

Skyfallsanalys

Skillnaden i volym mellan ett regn med återkomsttid på 200 års jämfört med ett regn med återkomsttid på 100 år är 29 %. Däremot är ökningen i antalet översvämmade fastigheter 59 %, se avsnitt 5.2.2. Att den procentuella skillnaden i volymförändring i nederbörd och antal översvämmade fastigheter ej är lika stor kan tänkas bero på ett främst två faktorer. En faktor är att en större del av nederbörden vid ett 200 års regn bidrar till ytavrinning jämfört med ett regn med 100 års återkomsttid eftersom regnintensiteten ökar men inte infiltrationskapaciteten. En annan faktor kan tänkas vara att Bjuv och samhällen i allmänhet inte är lika anpassade för att omhänderta skyfall av den magnituden. Troligtvis har de två faktorerna inverkan på varandra.

Avvattningsanalys på privat mark

Skillnaden på översvämmade fastigheter som avdraget från taken i området ger upphov till beräknas vara 21 stycken vilket kan ses i Tabell 9, detta motsvarar en reduktion på 18 %. Att all nederbörd från hustaken kan samlas upp med hjälp av hängränorna under ett regn med 100 års återkomsttid är inte sannolikt. Därmed ska det goda resultatet ifrågasättas. Vad det dock visar är att om all tackavvattning

uppsamlades av fastighetsägarna och inte leddes ut i ledningsnätet eller på tomtmarken, skulle en betydande reduktion uppnås. En faktor som inte inräknats men som troligtvis skulle förbättra resultatet är ledningsnätsavdraget som ytterligare kan tänkas utföras på hårdgjorda ytor om dagvattnet som faller på taken fördröjs på tomtmark och inte belastar ledningarna.

Ledningsnätsanalys

Analysen utfördes för att utreda hur mycket ett korrekt dimensionerat ledningsnät skulle reducera antalet översvämmade fastigheter med. Tabell 10 visar att en reduktion med 15 fastigheter, motsvarande 13 %, kan göras i området genom att införa ett ledningsnät som är dimensionerat för ett 10-årsregn. Det framgår inte heller för vilken återkomsttid som ledningsnätet i Bjuv i dagsläget kan tillhandahålla. Det enda som har konstaterats (Tyréns, 2016) är att det inte klarar av att omhänderta ett regn med 10 års återkomsttid. Antagandet om att ledningsnätet därmed är dimensionerat för ett 5-årsregn kan troligtvis vara en underskattning av dess verkliga kapacitet. Om så är fallet kommer effekten av att bygga om dagvattensystemet att minska.

6.1.2 Modellering av Bjuvs tätort

Vid framtagning av åtgärder i ytavrinningsmodellen har vi inte lyckats att inkludera alla fyra kategorier av öppen dagvattenlösning, illustrerade i Figur 2. Av de öppna dagvattenlösningar som har implementerats har mest fokus legat på *trög avledning* och *samlad fördröjning*. Vid analys över avrinningsmodellen över Bjuvs tätort har kantsten och att skapa rinnvägar visat sig vara de faktorer som har störst inverkan på lösningsförslagen, detta för att det många gånger handlar om att skydda specifika bostäder från avrinning mot fastigheterna. Vid framtagning av åtgärdsförslag för ett område som Bjuvs tätort, är man tvungen att förhålla sig till den befintliga miljön. Möjliga översvämningsförebyggande åtgärder måste därför skapas specifikt utefter den plats som de genomförs på.

Identifiering av fokusområden

Studerar man modelleringsresultatet över hela analysområdet före vidtagna åtgärder av öppna dagvattenlösningar tillsammans med översvämningsdrabbade fastigheter (bilaga B) kan man ganska enkelt ta fram problemområdena presenterade i Figur 17. Studerar man den MIKE-modell som körts för regnet som föll 15 juni (Figur 9), ser man att fokusområde 1-4 har brunnar som i MIKE-modellen drabbas av marköversvämmning. Att undersöka dessa områden kan därför minska framtida ombyggnader av ledningsnätet genom en integrering av de öppna dagvattenlösningarna. Genom att studera dessa 5 översvämningsdrabbade områden som rapporten inriktat sig på, tillsammans med vektorer över flödespilar under översvämningsförloppet, kan man enkelt dra slutsatsen att dessa problemområden är väldigt lokala och att punktsatser är av stort behov. Fokusområde 2 och 3 diskuteras nedan i varsitt avsnitt. Anledningen till att inte alla 5 fokusområden beskrivs är för att liknande lösningar återkommer i alla fokusområden och tyngd läggs istället på att djupare analysera två av dem.

Fokusområde 2

Fokusområde 2 består av ett bostadskvarter, där kommunala ytor till stor del utgörs av hårdgjorda ytor. Som visas i Figur 22 sker en stor avrinning från Norra Storgatan och delvis även från fokusområde 1. Detta område avgränsas till Boserupsbäcken, och studerar man flödesvektorer i Figur 22 blir det ganska tydligt att ett av problemen här är att avrinningen till Boserupsbäcken behöver förbättras. Genom att skapa en rinnväg vid återvändsgränden på Mörarpsvägen ut mot Boserupsbäcken, förbättras avrinningen ut från bostadsområdet. Studerar man de åtgärder som vi tillämpar på

Mörarpsvägen i form av nedsänkning av väg, rinnvägar och kantsten ser man att resultatet av en förändrad höjdsättning på denna gata ger ett bra resultat.

Studerar man flödesvektorerna i Figur 22 ser man att en stor avrinning sker från Norra Storgatan till Kroksgatan. På Kroksgatan tycks det finnas två instängda områden och mellan dessa finns, som tidigare nämnts i avsnitt 5.3.3 en höjdrygg på 60 cm, vilket i sin tur gör det problematiskt för dagvatten att avrinna vidare mot Boserupsbäcken. Mörarpsvägen är en bred väg och Figur 23 visar tydligt att genom en förändring av höjdsättningen, och därmed en styrning av ytavrinningen från Norra Storgatan till Mörarpsvägen istället för Kroksgatan, kan dagvatten lämna bostadsområdet och nå Boserupsbäcken utan att ge upphov till större skador i området.

Längs med Norra Storgatan södra del har kantsten implementerats genom en ökad cellhöjd på 30 cm, se Figur 20. Studerar man Figur 21 över vilka fastigheter som drabbats av översvämning efter vidtagna åtgärder, ger detta utförande ett väldigt bra resultat.

Fokusområde 2 är ett tydligt exempel på att genom att göra en mindre förändrad höjdsättning, kan man enkelt styra ytvattenavrinningen. Kroksgatan är däremot ett problemområde i sig, då det finns lokala lågpunkter och instängda områden. Man får räkna med att problem kommer kvarstå för fastigheter belägna i lågpunkter och instängda områden även efter att öppna dagvattenlösningar har implementerats.

Jämför man antalet översvämmade fastigheter i Tabell 12 ser man att dessa vidtagna åtgärder kan, enligt våra resultat, hjälpa 18 av de 20 översvämningsdrabbade fastigheterna, vilket motsvarar en reduktion på 90 %. För att få en bild över de öppna dagvattenlösningarnas begränsning, har även en modell med 200 års återkomsttid körts. Vid ett 200-årsregn motsvarar detta en reduktion på 64 %. Åtgärderna tycks följaktligen ha en översvämningsreducerande effekt även på regn med större återkomsttider än 100 år, dock inte lika god.

Fokusområde 3

Fokusområde 3 är ett bostadskvarter med Större andel kommunala grönytor än fokusområde 2. Studerar man avrinningen i Figur 28 ser man att en stor del av avrinningen som tillkommer i området antingen kommer från grönområdet i syd eller från Villagatan i väst. Studerar man flödesvektorer i samma figur samt den maxkarterade översvämningskartan i Figur 25 finner man en huvudorsak till varför detta område är ett problemområde. Figur 25 visar att det finns en lokal lågpunkt och instängt område på Humlegatan, det tycks därmed inte ske någon avrinning från detta område. Studerar man höjdförhållandena för analysområdet (se Figur 4) verkar området vara en lågpunkt i analysområdet, och en stor del av analysområdets sydvästra del avrinner till just denna lågpunkt.

Figur 25 visar att högsta översvämningsdjup på Humlegatan under översvämningsförloppet är över 1 meter. För att skapa en avrinning från bostadsområdet har ett svackdike från Villagatan ut mot Norra vägen och mot Boserupsbäcken implementerats. För att ta hand om allt vatten som kommer söderifrån sänks både en del i det stora grönområdet samt grönområde på Humlegatan med 0.5 respektive 1 meter. Studerar man Figur 25 och Figur 27 ger dessa tre åtgärder ett bra resultat till följd av skapandet av fördröjning och rinnvägar i området.

Studerar man antal översvämmade fastigheter i Tabell 13, blir resultatet att 8 av 16 fastigheter klarar sig från marköversvämning, vilket motsvarar en reduktion på 50 %. Studerar man resultatet för ett 200-års regn blir resultatet att 12 av tidigare 26 översvämmade fastigheter vilket motsvarar en

reducering på ca 46 %. Åtgärderna tycker därför vara effektiva och dimensionerade för att klara av mer än ett regn med 100 års återkomsttid.

Studerar man Figur 27 ser man 8 fastigheter fortfarande resterar att drabbas av marköversvämning efter vidtagna åtgärder. Förklaringen till att dessa fastigheter inte räddas tycks vara att de är belägna i lokala lågpunkter i förhållande till sin omgivning. Dagvatten samlas därför i dessa lågpunkter och förorsakar marköversvämning. Detta examenarbete syftar inte till att vidta några åtgärder på privat mark, därav görs inga försök till att rädda dessa fastigheter från marköversvämning. Något som däremot är intressant att nämna en av huvudorsakerna till att många fastigheter drabbades av markövervakning den 15 juni troligtvis är för att fastigheterna är belägna på lägre höjder än sin omgivning. Att implementera öppna dagvattenlösningar på kommunal mark kanske därmed inte gör någon skillnad för risken att drabbas av marköversvämning för enstaka fastigheter.

Inverkan av bebyggelsestruktur

Det har visat sig att de semi-urbana områden som brukats för öppna dagvattenlösningar nästan uteslutande har gjorts mittibland Bjuvs bebyggelse och inte runt omkring som till en början varit en tanke. Bebyggelsestrukturen har visat sig vara viktigare än vad vi till en början trott. De allra flesta lösningar har utförts som lokala punktinsatser på de platser där utrymme har getts. Områden som består av villabebyggelse med stor tomtmark har varit svårare att rädda om byggnaderna stått i lokala lågpunkter, vilket har varit fallet i ett flertal tillfällen. Vi har inte gjort några ingrepp på privat mark och har därmed inte kunnat styra hur avrinningen på tomtmark och mellan tomter sker. Många av de översvämningar som återstår efter vidtagna åtgärder, alstras av nederbörd som landar och ansamlas på tomtmark.

I tätare bebyggelse med högre andel inslag av grönytor har det visat sig vara enklare att reducera översvämningens risk. Det har i Bjuvs fall visat sig att storleken på grönytorna oftast inte varit en begränsning. Däremot har mängden av grönytor, främst då kommunala ytor i anslutning till tomtmark, varit en begränsning inom vissa områden.

6.2 Osäkerheter, brister och förbättringsmöjligheter i modellen

6.2.1 Infiltrationsmodul

Infiltrationsmodulen är som nämnts i avsnitt 0 uppbyggd av 5 parametrar; infiltrationshastighet, perkolation, porositet, vattenmättnad och celdjup. De diskuteras under varsin rubrik nedan. Infiltrationen spelar en stor roll för utfallet av modellens resultat, därmed hade en god idé t.ex. varit att koppla ytavrinningsmodellen till en grundvattenmodell.

Infiltrationshastighet

Som diskuterats i avsnitt 6.1.1 spelar valet av infiltrationsuppsättning en stor roll för resultatet av antal översvämmade fastigheter. Av de förändringsbara parametrarna perkolation och infiltrationshastigheten, är det den sistnämnda som ger allra störst utslag i känslighetsanalysen. Troligtvis beror detta på att många celler aldrig blir vattenfyllda och därför kan perkolationsvärdet inte göra lika stor inverkan på resultatet.

Infiltrationshastigheten in i cellen beror främst på vad för geologiska förhållanden som cellen representerar. Tyvärr har ett stort problem varit bristen på geologiska användbara data i det övre jordlagret i Bjuv. I allmänhet verkar detta vara ett problem vid skyfallsmodellering, brist på data gör

att grova förenklingar blir tvungna att utföras. Övergripande beskrivningar om geologin i det övre jordlagret i Bjuv har gjorts men de är mycket godtyckliga och har endast beskrivits i ord. En översättning av beskrivningen har gjorts till infiltrationsvärden, något som troligtvis inneburit att avståndet mellan modelluppsättningen och de verkliga förhållandena ökat ytterligare.

De sedimentära jordlagerföljderna med hög förekomst av ler och mindre kornfraktioner som tycks förekomma i Bjuv innebär att skillnaden på avrinning mellan hårdgjorda ytor och grönytor blir liten. På grund av det kraftiga avdrag som gjorts från det regn som faller på hårdgjorda ytor, innebär det att avrinningen från grönområdena i modellen blivit större än från de hårdgjorda ytorna.

Porositet

Porositetsvärdet har valts som ett konstant värde under hela rapporten. Att inte inkludera porositeten i känslighetsanalysen gjordes för att inte försvåra valet av parametrar genom att införa ytterligare en förändringsbar faktor. Det har på så sätt ansetts lättare att resonera sig fram till ett värde.

Värdet på porositeten avgör hur mycket vatten som kan infiltreras och befinna sig i cellen innan den fylls. Som nämns i avsnitt 0 beskrivs det övre jordlagret i Bjuv bestå av sand och mo och därmed ha en effektiv porositet på 30 %.

Ingen skillnad på effektiv porositet och porositet görs i MIKE 21, något som om man inte tänker efter kan det skapa problem. Det är dock effektiv porositet som ska angivas. Lera kan t.ex. ha en porositet på närmare 75 % medan den effektiva porositeten endast är ett par procent. Något som kan innebära stora skillnader i det slutliga resultatet om en förväxling skulle ske.

Celldjup

Valet av celldjup har gjorts helt enligt eget resonemang och är inte underbyggt av argumentering eller val från andra rapporter. Det är svårt att hitta goda argument till varför val av celldjup har gjorts i de rapporter som har använt sig av liknande infiltrationsbeskrivning. Troligtvis beror detta på att studier och utredningar inte utförts för att skapa ett informationsunderlag för hur framtagning av celldjup ska ske. Tydliga rekommendationer om celldjup verkar saknas helt.

Valet av 0.4 meter gjordes för att sedan kunna härleda perkolationen till SGU:s kartor då dess karteringar är gjorda på ett minsta djup av 0.5 meter. Valet kunde göras då de sedimentära lagren i området är omfattande och inget berg existerar nära markytan. Samma celldjupsvärde kan därför inte användas för godtyckliga modelleringsområden.

Perkolation

Likt många av parametrarna i infiltrationsuppsättningen, är framtagna värden på perkolation genom resonemang svåra att finna i andra rapporter. Många förenklingar görs utan att ge en förklaring till varför de utförs. Orsaken är troligtvis också här att inga utredningar och vägledning finns att tillgå.

Perkolation är en komplex variabel som grundar sig i vilka förhållanden som påverkas av bland annat geologiska förhållanden och grundvattenflöden. En förenkling av SGU:s jordartskarta har gjorts för att beskriva perkolationsvärdena. I vår modell verkar dock valet av värde inte påverka resultatet i samma grad som infiltrationshastigheten gör, se avsnitt 5.2.1.

Initialt vatteninnehåll

Data om grundvattennivåerna eller vatteninnehållet i det övre jordlagret har inte funnits att tillgå, så även här gjordes ett eget antagande. Eftersom skyfall oftast inträffar under sommarmånaderna juni,

juli och augusti, har det i rapporten antagits att vattennivån i det övre jordlagret är lågt. Därav valet av ett initialt vatteninnehåll på 20 %.

6.2.2 Höjddata

Höjddatan som används i modellen har som nämns i avsnitt 4.3.2 en upplösning på 2 m. Som nämns i avsnitt 4.2.2 tenderar små detaljer att utebli från modellen, vilket även blir tydligt i vår modell när man talar om t.ex. de öppna dagvattenlösningar som appliceras i modellen. Alla de öppna dagvattenlösningar som skapas i modellen har en minsta bredd på 2 m eller en minsta area på 4 m². När vi säger att vi implementerar kantsten längs med en fastighetsgräns motsvarar det snarare en upphöjning av trottoar i modellen. Val av öppna dagvattenlösningar har fått ta hänsyn till vad som är möjligt att applicera i modellen. Den numeriska upplösningen blir en begräsning i modellen.

Den laserscannade höjddatan, NNH, som använts i modellen, ger som nämns i avsnitt 4.2.3 höjder för mark- och vattenytor. Byggnader har fått höjas upp i modellen, men däremot blir det svårt att avspegla vattendrag i höjddatan. Strukturer så som broar, mindre vattenövergångar, kulvertar och vattentrummor klassas i NNH som markytor. Boserupsbäcken är smal och vegetation som omger den gör att höjddatan för bäcken felaktigt avbildad. Bäcken blir därmed i avrinningsmodellen inte sammanhängande och för att lösa det har höjddatan för rasterceller manuellt korrigerats. Detta är en metod som inte är optimal, då en manuell sänkning troligen inte avspeglar verkligheten. Skillnaden mellan modellresultat och verklighet blir mindre när en större vattengång modifieras jämfört med när modifieringar görs för mindre kulvertar. Detta beror på modellens två meters upplösning är betydligt större än en kulverts diameter. Om inte ändring för kuperade sträckors genomförs, överskattas dämningen uppströms. Om en ändring sker, blir effekten den motsatta, d.v.s. att kulvertarnas dämmande effekt underskattas.

De fokusområden som valts ut i examenarbetet påverkas inte direkt av Boserupsbäcken, att manuellt ändra höjdsättning på Boserupsbäcken verkar därmed inte påverka resultatet när det gäller mark-översvämningar för fokusområdena. Boserupsbäckens interaktion och påverkan vid ett skyfall är en viktig avgörande faktor för Bjuvs tätort, men har inte kunnat kartläggas i denna ytavrinningsmodell.

En högre upplösning ger inte en bättre kvalitet om punktätheten överstiger cellstorleken. Vidare kan en ökad upplösning ge en ökad instabilitet i ytavrinningsmodellen. Däremot ger det en förbättring när det gäller hur detaljerat åtgärderna avbildas i modellen.

6.2.3 Beräkningstid för modellen

I avsnitt 4.3.3 beskrivs hur ett förhållande mellan den maximala flödes hastigheten, tidsstegets längd och modellens upplösning kan användas för att optimera modelleringstiden. Värdet som förhållandet anges i benämns Courant numret, se ekvation c, och bör inte överstiga 1. Modelleringarna som utförts i denna rapport har alla legat kring 0.4. När försök har utförts för att minska beräkningstiden har värdet på tidsstegen dubblats till 0.5 sekunder vilket medförde att Courant numret ökat till 0.8, det har även medfört ostabilitet i modellen. Alla modelleringar som har använts är därmed gjorda med ett Courant nummer på 0.4 och tidssteg på 0.25 sekunder, något som har medfört att modelleringstiden uppgått till 16 timmar per simulering. Att minska beräkningstiden för varje simulering hade inneburit en effektivisering av examensarbetet i form av reducerade arbetstimmar.

Beräkningstiden beror på hur många tidssteg som simuleringsperioden väljs att delas upp i och hur hög upplösning använd höjddata har. En ökning av någon av dessa parametrar innebär en ökning i

beräkningstid såväl som krav på lagringsutrymme. Att öka kvalitén av dem är därför inte alltid positivt och ska därmed göras med försiktighet och eftertanke.

6.2.4 Regnuppbyggnad och ledningsnätsavdrag

Regn med återkomsttid på 100 år kan skilja sig markant från varandra, därmed även utfallet som de ger. Valet av varaktighet ger regnet olika maxintensitet vilket i sin tur ger varierande resultat i den dynamiska flödesmodellen och då det maximala vattendjupet i varje cell tas fram. Antal översvämmade fastigheter, och även vilka fastigheter det är som blir översvämmade, kommer därmed att skilja sig mellan olika 100-årsregn beroende på den varierande uppsättningen.

Som nämnts i teoridelen, simuleras endast 2.5 timmar av de totalt 6 timmar som regnet pågår. Det innebär som nämnts i avsnitt 4.3.4 att 24 % av den totala regnvolymer inte kommer att inkluderas i simuleringarna för det valda regnet. Om hela regnet hade simulerats, hade troligtvis flera fastigheter visats sig få översvämningar. Anledningen till att förenklingen är gjort är för att simuleringstiden inte ska bli allt för lång, något som MSB (2014) även förespråkar att göra vid skyfallssimuleringar.

Avdraget av ledningsnätet från det regn som faller på hårdgjorda ytor är en förenkling som har varit tvungen att göras då tillräcklig information om ledningsnätet saknats. Det innebär att översvämningar på många platser förmodligen underskattas medan det istället på andra platser överskattas. Det bör hållas i åtanke främst för de fastigheterna som precis har uppfyllt respektive de som varit nära att uppfylla översvämningskriterierna. Eftersom det i modellen inte sker någon infiltration från hårdgjorda ytor, innebär det att stora vattendjup uppkommer om lågpunkter förekommer där. Översvämningsdjupet är förmodligen överskattat där eftersom en dagvattenledning i verkligheten avvattnar ytan i större mån. Vidare går det inte att avspegla den dynamiska effekten av hur ett ledningsnät påverkar avrinningen under förloppet.

6.2.5 Implementation av öppendagvattenlösning

Eftersom tillgång till specifik programvara för ändring av cellvärden i den DEM som använts inte funnits har skript i FME tagits fram för att utföra ändringarna. Utformningsstandarderna som har beskrivits i avsnitt 2.4 har på grund av svårigheten att utföra detaljer i höjdmodellen inte kunna följas till fullo. FME skripten har fungerat bra för att konstruera lösningsförslag som kan göras i grova drag med skapar problem när det kommer till att utföra detaljerade utformningar. Figur 12 beskriver hur interpoleringarna har utförts och problemen som föreligger i samband med det. Att flödesvägarna utförs igenom att gå strikt i horisontal- och vertikalled har troligtvis medfört förändringar i resultatet, jämfört med om de hade utförts med rak linjedragning, eftersom flödes hastigheten minskar, vattnets väg blir längre och mindre kontinuerlig.

6.2.6 Framtagen definition för marköversvämmade fastigheter

Den definition som används för att ta fram marköversvämmade fastigheter är framtagen efter resonemang med vår handledare Gunnar Svensson på Tyréns. Att analysera marköversvämmade fastigheter är ett nytt sätt att analysera konsekvensen av ett skyfall i bostadsområden. Det finns i nuläget ingen standard eller några rekommendationer för hur en sådan typ av framtagning ska se ut. I detta examenarbete har två definitioner tagit fram där tre parametrar inkluderas: vattendjup, sammanhängande vattenyta samt avstånd till fastighet. Denna analysmetod behöver ses över, för framtida studier bör man se över om fler parametrar kan inkluderas i modellen som t.ex. flödesriktning och flödes hastighet.

6.3 Översvämningshantering och skyfallsplanering ur ett samhällsperspektiv

6.3.1 Ansvarsområden

Ett problem när det kommer till skyfallsplanering i dagsläget är den ofullständiga ansvarsuppdelningen som förekommer mellan olika förvaltningar på kommuner, något som troligtvis varit den avgörande faktorn för att beställningar av ytavrinningsmodeller inte blivit av för ett flertal kommuner. På många kommuner är även det ekonomiska ansvaret, se avsnitt 0, mellan olika förvaltningar ottydligt gällande ersättning av infrastruktur som skadats vid översvämnings. Det ekonomiska ansvaret mellan väghållare, VA-huvudman och kommun är därmed något som kan tänkas skilja sig mellan kommuner.

Det är också ottydligt vad som gäller vid utförande av skyfallsplaner. Det finns ytterst begränsade fakta om ingående delar i modelluppsättningen, exempel är hur modifieringar utförs i höjdmodellen, uppsättningen av infiltrationsuppsättningen och uppsättningen av regnet. En tydligare riktlinje hade behövts vid skyfallsmodellering för att underlätta för beställare såväl som för modellörer. Svenskt Vatten bär det största ansvaret för om riktlinjerna kommer att införas eller ej.

6.3.2 Stadsplanering

Som nämns i avsnitt 3.6.4 är det viktigt att tänka på höjdsättning och markanvändning när man planerar att exploatera nya områden. Något som vi anser är lätt att blunda för är risken för underdimensionerade dagvattenledningar vid påkoppling av nybyggda områden. Öppna dagvattenlösningar spelar en allt större roll när ledningsnäten inte uppfyller branschkraven. Att förbise förundersökningar kan ge stora konsekvenser. Många bostäder i Bjuvs tätort är placerade i lokala lågpunkter med hög översvämningsrisk, något som är svårt att åtgärda i efterhand. Att som kommun ha en skyfallsplan med i översiktsplanen är något vi tror kommer bli allt vanligare inom de närmsta åren, även bland mindre kommuner.

6.3.3 Semi-urbana områden

Att en ökad urbanisering leder till en ökad ytavrinning är ett konstaterande som även nämns i avsnitt 3.7. Tanken med detta examensarbete var att diskutera och se fördelen att kunna utnyttja befintliga grönområden i semi-urbana miljöer. För Bjuvs tätort har det resulterat i att endast nyttja kommunala grönområden och inte områden utanför bostadsområden så som åkrar etc. Bjuv är en tätort där det i stort sett ingen förändring i förtätning sker i det befintliga samhället. Att implementera ett öppet dagvattensystem i de semi-urbana bostadskvarteren kan därför ses som en relativt enkel uppgift. Som nämns i avsnitt 3.7 kan semi-urban miljö även ses som en snabb ombildning från landsbygd till urban miljö. Ser man semi-urban miljö på detta sätt kan det vara mer problematiskt att komma åt ytor där öppen dagvattenhantering kan implementeras. Ser man till exempel en förort där tillväxten är stor och förtätning sker under en kort tid kan det vara svårt att implementera öppna dagvattenlösningar, en stor fördel är att det kommer med i tidigt planeringsskede.

6.4 Framtida studier

Idag finns det inga framtagna nationella riktlinjer för hur man ska modellera och analysera en ytavrinningsmodell. Vidare finns det ingen struktur för kommuner om hur man ska arbeta vid framtagning av skyfallsplaner. Det hade varit bra om någon organisation tar på sig att ta fram och sprida kunskapen till branschen.

För att få en mer komplex ytavrinningsmodell borde modellen utökas till att inkludera till exempel ledningsnätet eller grundvattenförekomster. Att kartlägga och modellera hur grundvattenförekomster interagerar och påverkar avrinning kan möjligen ge mer komplexa upplysningar som man idag inte kan

få svar på. Inkluderar man ett ledningsnät kan man även kalibrera modellen genom att i dem utföra flödesmätningar.

Tidigare i avsnitt 6.1.1 diskuteras att val av infiltrationsmodul ger stora skillnader på modelleringsresultatet. Detta examensarbete syftar inte att göra en fördjupande undersökning över infiltrationens inverkan på modelleringsresultatet, däremot har vi insett vikten för att utreda detta vidare, t.ex. som ett potentiellt framtida examensarbete om framtagning av celldjup och perkolation.

Ser man på framtida studier i denna fallstudie över Bjuvs tätort, är det av intresse att utvärdera kostnader för översvämningarna, samt fasta och rörliga kostnader för åtgärder för att underlätta för beslutsfattande. En annan sak som inte använts i rapporten men som hade underlättat att utföra val av lösningar är om det funnits nyckeltal, t.ex. mest översvämningsreducering per investerad krona.

7 Slutsats

I Bjuv har ett flertal översvämningskänsliga områden lokaliserats, något som även tidigare utredningar indikerar. Det har sin uppkomst i flertalet faktorer. Främst har instängda områden och lokala lågpunkter, i samverkan med en hög förekomst av lera i området, gjort att modelleringens utfall, liksom skyfallet den 15 juni 2016, resulterat i många översvämningar.

Modellresultaten visar att införande av öppna dagvattenlösningar i Bjuv kan reducera översvämningsrisken. Det är dock svårt att avgöra till vilken grad då inga nyckeltal använts för utvärdering, samt att många osäkerheter föreligger vid uppsättning av ytavrinningsmodellen såväl som för använd indata. Många av de åtgärder som föreslagits tycks klara av regn med en återkomsttid på 100 år och i många fall även mer än så. Störst fokus kring de öppna dagvattenlösningarna har legat på trög avledning och samlad fördröjning, vilka har utförts en i varierande omfattning. Att avleda vatten till nedsänkta grönområden är ett sätt att samla och fördröja stora volymer dagvatten, något som visat sig vara nödvändigt i denna fallstudie. En mindre förändring i höjdsättningen har visat sig förändra resultatet kraftigt. Därav har kantsten i många fall visat sig vara en bra lösning.

Att införa öppna dagvattenlösningar i ytavrinningsmodellen har visats sig vara ett bra analysverktyg. Många frågor finns kring osäkerheter kring indata, modelluppsättning och om hur införandet av lösningar bör göras. Infiltrationsuppsättningen i modellen har visat sig ha en betydande inverkan på resultatet och ger på grund av bristande tillgång på information om indata och uppsättning en stor osäkerhet. Uppbyggnad av regn med samma återkomsttid kan göra med olika intensitet och varaktigheter, vilket kan resultera i ett varierande modelleringsresultat. Brist på vägledning och rekommenderad branschstandard vid ytavrinningsmodellering har gjort att förenklingar i arbetet många gånger utförts.

Många storstäder och översvämningsdrabbade kommuner har genom beställning tagit fram skyfallsmodeller för det befintliga samhället. Vid skyfallsmodellering är det även viktigt att inkludera åtgärdsförslag i modellen för analysering. Att implementera åtgärder i skyfallsmodeller tycks vara ett effektivt sätt att selektera bort åtgärder som inte ger förväntad effekt, men är framförallt ett sätt att undersöka och kartlägga hur åtgärder samverkar med sin omgivning. Om det inte utförs i samband med framtagningen av skyfallsmodellen, finns en stor risk att de inte utförs efteråt. Den eventuella licens- och kunskapsbristen på de programvaror som använts, gör att modellen i dagsläget troligtvis inte kan tas vidare i bruk. Troligen har införandet av öppna dagvattenlösningar i ytavrinningsmodeller en avgörande roll i kommuners beslut om vidtagande av åtgärder.

8 Referenser

Adrielson, L., Mohrén, E. & Daniel, E., 1981. *Beskrivning av jordartskartan - Helsingborg SV*. Uppsala: Sveriges Geologiska Institut.

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

Arnell, V., 1982. *Rainfall data for the design of sewer pipe systems*, Göteborg: Institution för vattenbyggnad Chalmers Tekniska Högskola.

Bjuvs kommun, 2006. *Översiktsplan 2006*, Bjuv: Bjuvs Kommun.

Bjuvs kommun, 2015. *Bjuv*. [Online]

Available at: <http://www3.bjuv.se/Invanare/Bygga-bo--miljo/tatorter/Bjuv/> [Använd 20 03 2017].

Blecken, G., 2016. *Kunskapssammanställning Dagvattenrening*, Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling.

Blomqvist, D., Hammarlund, H., Härle, P. & Karlsson, S., 2016. *Riktlinjer för modellering av spillvattenförande system och dagvattensystem*, u.o.: Svenskt Vatten Utveckling.

Brandt, A., 2009. *Betydelse av höjdmodellens kvalitet vid endimensionell översvämningsmodellering*, Gävle: Högskolan i Gävle, FoU-rapport Nr 35 .

DAHL, u.d. *Dagvattenboken*. [Online]

Available at:

https://www.dahl.se/wcsstore/Dahl%20B2B/Konceptkataloger/Dagvattenboken_utg%202.pdf [Använd 18 04 2017].

Dahlström, B., 2010. *Regnintensitet- en molnfysikalisk regnbetraktelse*, Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling.

DHI Water & Environment, n.d.. *MIKE 21 Flow Model Hints and Recommendations Applications with Significant Flooding and Drying*, u.o.: u.n.

DHI, 2016a. *MIKE 21 Flow Model*, u.o.: DHI.

DHI, 2016b. *MIKE21 flow model & MIKE 21 flood screening tool*, Hørsholm: DHI.

ESRI, 2001. *ArcGIS 9- What is ArcGIS?*, United States of America: ESRI.

Falk, J., 2007. *Erfarenhet av kommunala Dagvattendammar*, Stockholm: Svenskt Vatten AB.

Gillies, R., Box, J., Symanzik, J. & Rodemaker, E., 2003. Effects of Urbanization on the Aquatic Fauna of the Line Creek Watershed, Atlanta – a Satellite Perspective. p. 411– 422.

Haile, A. & Rijentjes, T., 2015. *Effects of LiDAR DEM resolution in flood modelling: a model sensitivity study for the city of Tegucigalpa, Honduras*, Enschede, Nederländerna: Workshop "Laser scanning 2005".

Jordbruksverket, 2013. *Jordbrukets markavvattningsanläggningar i ett nytt klimat*, u.o.: Jordbruksverket Rapport 2013:14.

Knutsson, G. & Morfeldt, C.-O., 1978. *Vatten i jord och berg*. Stockholm: Ingenjörskörl.

- Lantmäteriet, 2016. *Kvalitetsbeskrivning nationell höjdmodell*, u.o.: u.n.
- Larm, T., 2000. *Utformning och dimensionering av dagvattenreningsanläggningar*, Stockholm: VAV AB.
- Länsstyrelsen i Örebro län, 2016. *Utredning av översvämning i Hallsberg 5-9 september 2015*, u.o.: Länsstyrelsen i Örebro län.
- Meeus, S. J. & Gulincx, H., 2008. *Semi-Urban Areas in Landscape Research: A Review*, Leuven, Belgien: Living Rev. Landscape Res. 2.
- Messner, F. o.a., 2007. *Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods*, Wallingford, UK: FLOODsite.
- MSB, 2010. *Ekonomiska konsekvenser av kraftiga skyfall*, u.o.: (Publikationsnummer MSB 0187-10). MSB.
- MSB, 2012. *Översvämningar i Sverige 1901-2010*, u.o.: (Publikationsnummr: MSB355 - januari 2012). MSB.
- MSB, 2013. *Pluviala översvämningar*, u.o.: (Publikationsnummer MSB567-13). MSB.
- MSB, 2014. *Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet*, u.o.: (Publikationsnummer MSB694 - maj 2014). MSB.
- MSB, 2015. *Intensiv korttidsnederbörd - Riktlinjer för översvämning av urbana områden - förstudie*, u.o.: (Publikationsnummer MSB867- Maj 2015). MSB.
- NSVA, 2014. *Dagvattenpolicy Bjuv*, u.o.: u.n.
- NSVA, 2016. *Rapport utredning av översvämningar 15 juni 2016 i Bjuvs kommun*, Helsingborg: NSVA.
- Safe Software, 2016. *FME Desktop Basic Training Course*, u.o.: u.n.
- SGU, u.d. *Genomsläpplighet*. [Online]
Available at: <https://www.sgu.se/produkter/kartor/kartvisaren/jordkartvisare/genomslapplighet/>
[Använd 17 05 2016].
- SMHI, 2011. *Rotblöta och skyfall*. [Online]
Available at: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/rotblota-1.17339>
[Använd 25 02 2017].
- SMHI, 2013. *Regn*. [Online]
Available at: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/regn-1.648>
[Använd 25 02 2017].
- SMHI, 2014. *Nyckfulla sommarskurar*. [Online]
Available at: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/nyckfulla-sommarskurar-1.17129>
[Använd 25 02 2017].
- Stahre, P, 2004. *En långsiktigt hållbar dagvattenhentering Planering och exempel*. Stockholm: Svenskt Vatten.
- Stahre, P., 2008. *Blue-green fingerprints in the city of Malmö, Sweden*, Malmö: VA SYD.

- Svensk Försäkring, 2015. *Vem tar ansvar för klimatanpassningen?*, u.o.: Svensk Försäkrings rapportserie 2015:1. Svensk Försäkring. .
- Svenskt Vatten, 2011a. *Publikation P105 - Hållbar dag- och dränvattenhantering. Råd vid planering och utformning*, Stockholm: Svenskt Vatten.
- Svenskt Vatten, 2011b. *Publikation P104 - Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem*, Stockholm: Svenskt Vatten.
- Svenskt Vatten, 2016. *Publikation P110 - Avledning av dag-, drän- och spillvatten. Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem*, Stockholm: Svenskt Vatten.
- Svensson, C., 2011. *Teknisk geologi AK*. Lund: Avdelning för teknisk geologi, Lunds Universitet.
- Tacoli, C., 1998. *Bridging the Divide: Rural-Urban interactions and livelihood strategies*, u.o.: International Institute for Environment and Development.
- Tyréns, 2016. *Kapacitetskontroll av dagvattensystemet. Del av Bjuv*, Malmö: Tyréns.
- Ward, R. & Robinson, M., 2000. *Principles of hydrology*. u.o.:Mcgraw-Hill, 4th edition (2000).
- WeiFeng, L., QiuWen, C. & JingQiao, M., 2009. Development of 1D and 2D coupled model to simulate urban inundation: An application to Beijing Olympic Village. *Chinese Science Bulletin*, pp. 1614-20.
- Viklander, M. & Bäckström, M., 2008. *Alternativ dagvattenhantering i kallt klimat*, Stockholm: Rapport Nr 2008-15. Svenskt Vatten AB .
- Åmåls kommun, 2017. *Bilagor/Handlingar 3 - Kommunfullmäktige sammanträde Torsdag 27 april 2017*, u.o.: u.n.

Bilaga A: Sammanfattande modelluppsättning

I följande bilaga sammanfattas den modelluppsättningen som byggts upp i MIKE 21, se tabell 1.

Kategori	Antagande	Kommentar
Struktur	<ul style="list-style-type: none"> Flow Model (.m21) dfs2-fil Inland flooding 	
Bathymetry	<ul style="list-style-type: none"> Laserdata från Lantmäteriet dfs2-fil Upplösning DEM: 2 m Land Value: 999 m ö.h Projektion: SWERF99_13_30 Manuell nedsänkning av delar av Boserupsbäcken Byggnader har höjts upp Implementationer av öppna dagvattenlösningar har gjorts i FME och i MIKE zero 	Se bilaga D för implementationer av öppna dagvattenlösningar
Simulation Period	<ul style="list-style-type: none"> Antal tidssteg: 57 600 s Intervall: 0.25 s Simuleringsperiod: 4 h 	Uppsättningen av simuleringsperioden motsvarar ett courant nummer på ca 0.4
Source and Sink	<ul style="list-style-type: none"> dfs2-fil CDS-regn med 100 års återkomsttid Klimatfaktor: 1.25 Ledningsmätsavdrag: Ett Schablonmässigt- och ett dynamiskt avdrag Ledningsmätsavdrag: CDS-regn med 5 års återkomsttid Varaktighet på hårdgjorda ytor: 30 min Varaktighet på grönytor: 2.5 h 	Se avsnitt 4.3.4 för mer detaljerad förklaring av det uppbyggda CDS-regnet
Flood and Dry	<ul style="list-style-type: none"> $h_{flood} = 0.008$ $h_{dry} = 0.01$ 	
Infiltration	<ul style="list-style-type: none"> Konstant infiltration med kapacitetsbegränsning Variation i tid och inom området Infiltrationshastighet: 36 mm/h Porositet: 0.3 Celldjup: 0.4 m Perkolation: Låg genomsläpplighet: 3.6 mm/h Hög genomsläpplighet: 36 mm/h Initiala vattenvolymen: 20% 	<ul style="list-style-type: none"> Infiltrationsmodulen är framtagen i känslighetsanalysen, se avsnitt 5.2.1 För mer utförlig förklaring se avsnitt 4.3.6
Eddy Viscosity	<ul style="list-style-type: none"> Kontant flux-baserat Eddy viscosity = 1.0 	
Resistance	<ul style="list-style-type: none"> Mannings tal, M Hårdgjorda ytor (vägar och tak): $50 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ Gräsytor: $2 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ 	

Figur 1 Sammanfattad modelluppsättning i MIKE 21

Bilaga B: Fokusområde 1, 4 och 5

I följande bilaga presenteras översvämningskarteringar, före och efter att åtgärder har vidtagits i form av öppna dagvattenlösningar, för fokusområde 1, 4 och 5.

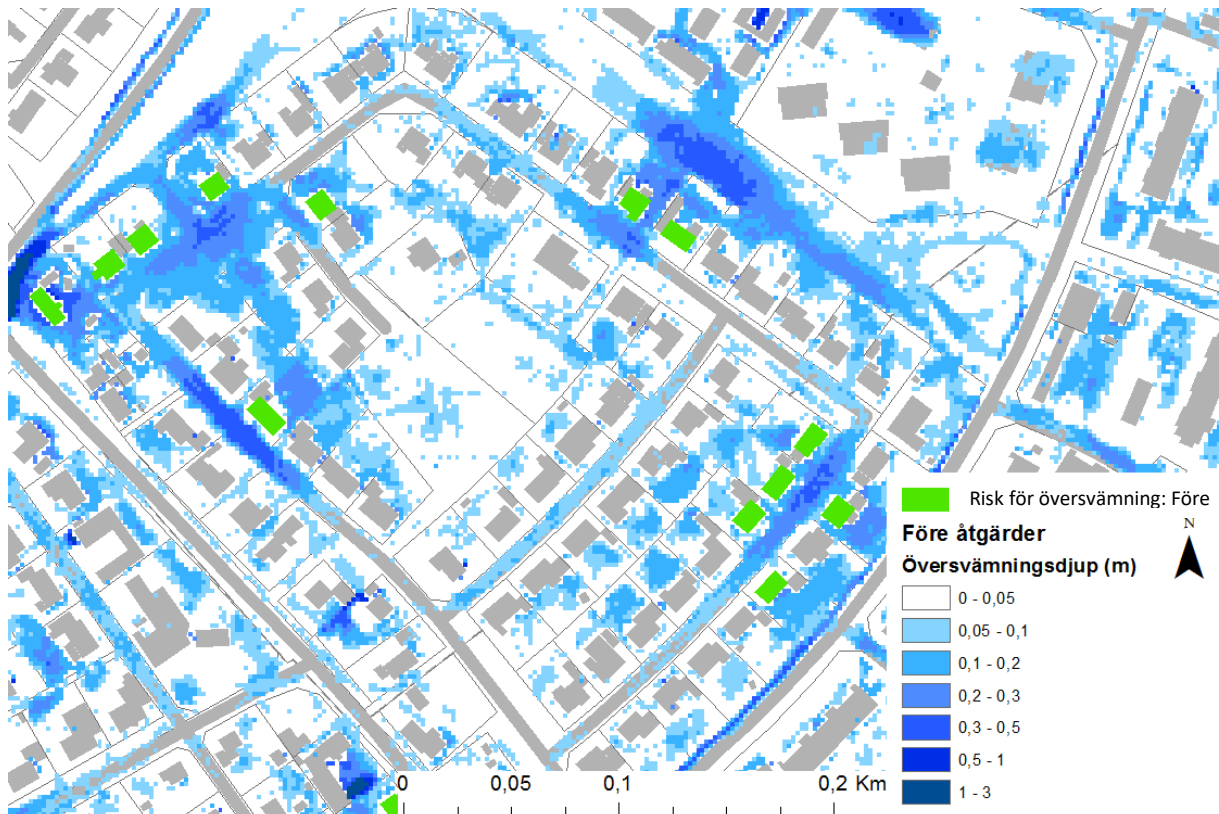
Fokusområde 1

Fokusområde 1 består av ett kvarter som ligger norr om Norra Storgatan och väster om Gunmarstorpsvägen. I området finns 78 bostadshus där bland annat Frejagatan, Odengatan och Baldersgatan ingår, se Figur 1.



Figur 1 Fokusområde 1 i Bjuv.

Figur 2 visar ett maxkarterat översvämningsdjup för ett 100-årsregn före åtgärder. Figuren visar även vilka fastigheter som enligt framtagen definition blir drabbade av marköversvämnings



Figur 2 Maxkarterat översvämningsdjup före åtgärder.

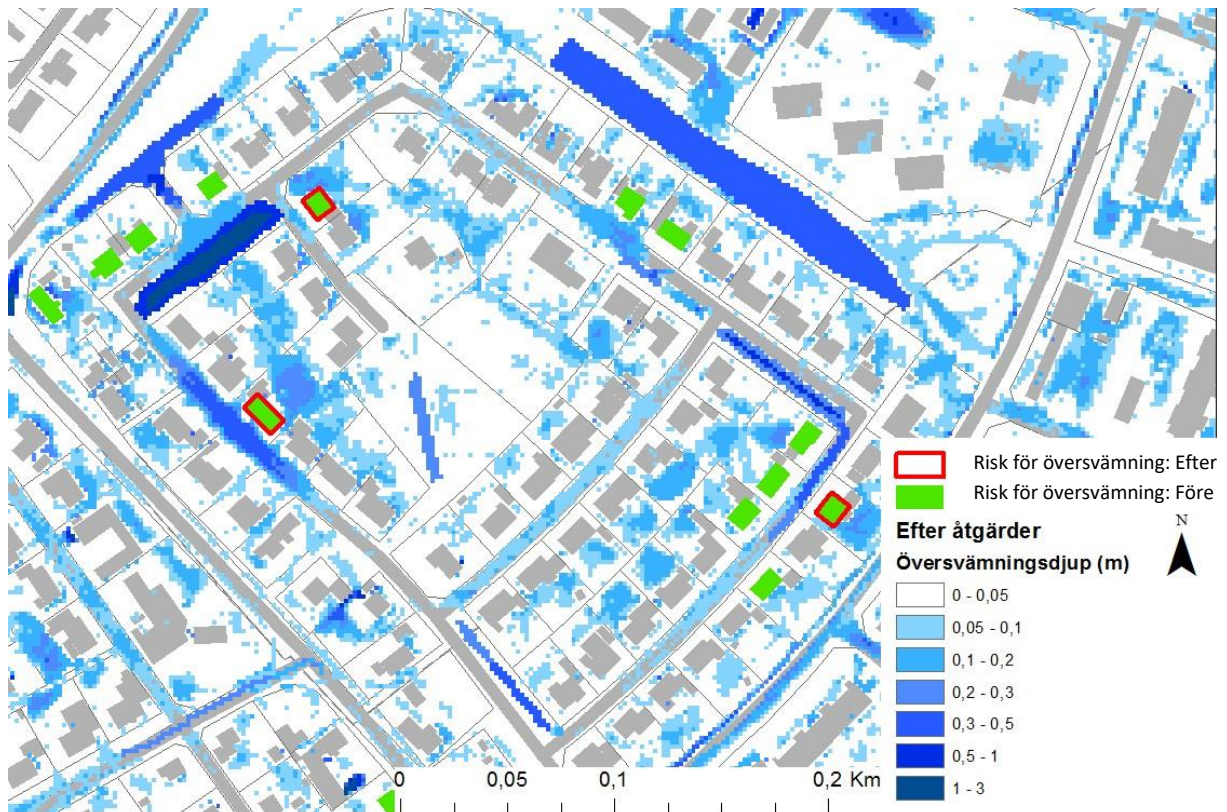
Figur 3 visar vilka åtgärder som vidtagits. Nedan sammanfattas vilka öppna dagvattenlösningar som har implementerats.

- En ca 3200 m² grönyta norr om Frejagatan har sänkts med 0.5 m
- Två mindre grönytor vid södra och norra delen av Baldersgatan har sänkts med 0.5 och 1 m. Arean på dessa grönytor är ca 440 och 600 m² respektive.
- En rinnväg har skapats längs med Baldersgatan till den sänkta grönytan beläget i norr.
- Två mindre grönytor längs med Frejagatan har sänkt med 0.5 m. Rinnvägar har skapats för att avlasta gatan från avrinning.
- En grönyta på ca 960 m² belägen i västra delen av Baldersgatan har sänkts med 0.5 och 1 m.
- Ett cykel- och gångstråk beläget i nordvästra delen av fokusområdet har sänkts med 0.5 m. En mindre rinnväg har skapats från bostadsområdet till detta stråk.
- En ca 180 m² grönyta har sänkts med 0.5 m i grönområdet beläget i centrala området.



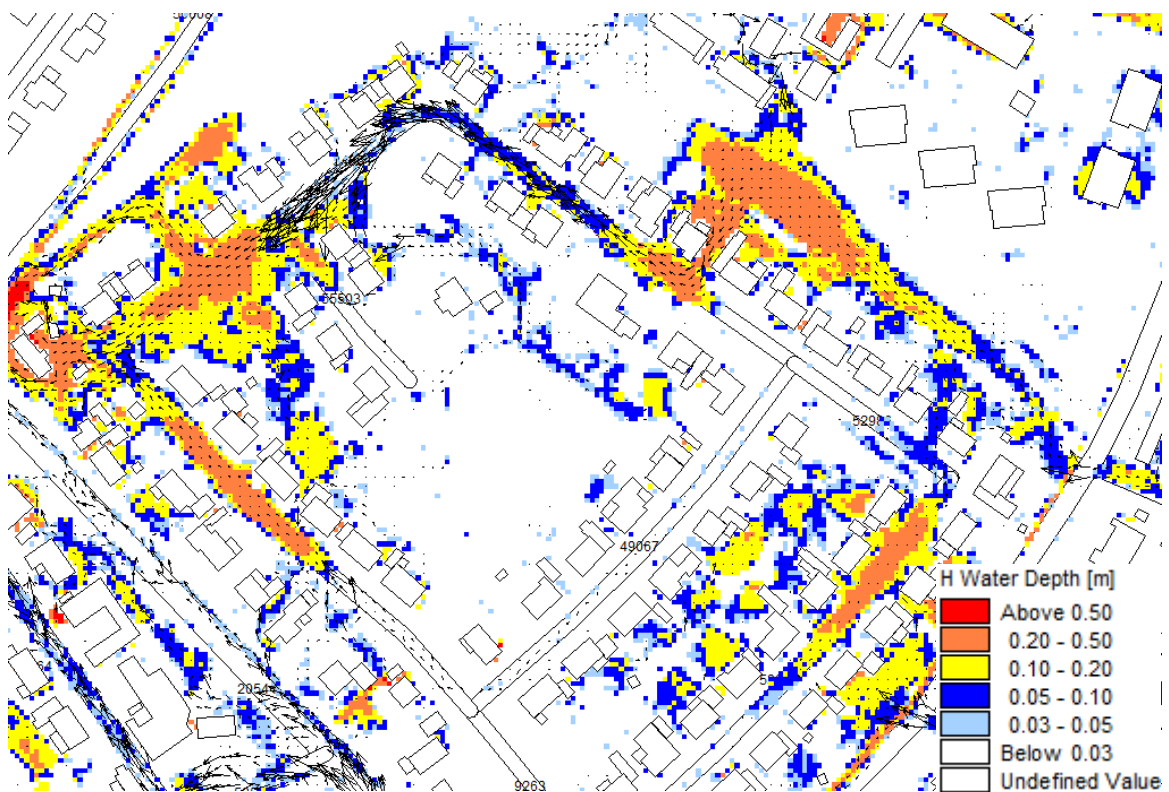
Figur 3 Implementerade öppna dagvattenlösningar på fokusområde 3.

Figur 4 visar maxkarterad översvämningsdjup efter åtgärder har vidtagits för ett 100-årsregn. Efter att öppna dagvattenlösningar implementerats kvarstår 3 fastigheter drabbade av marköversvämning enligt framtagna definition. Av de tidigare 13 drabbade fastigheter, klarar sig nu ytterligare 12 fastigheter från marköversvämning enligt framtagna definition.

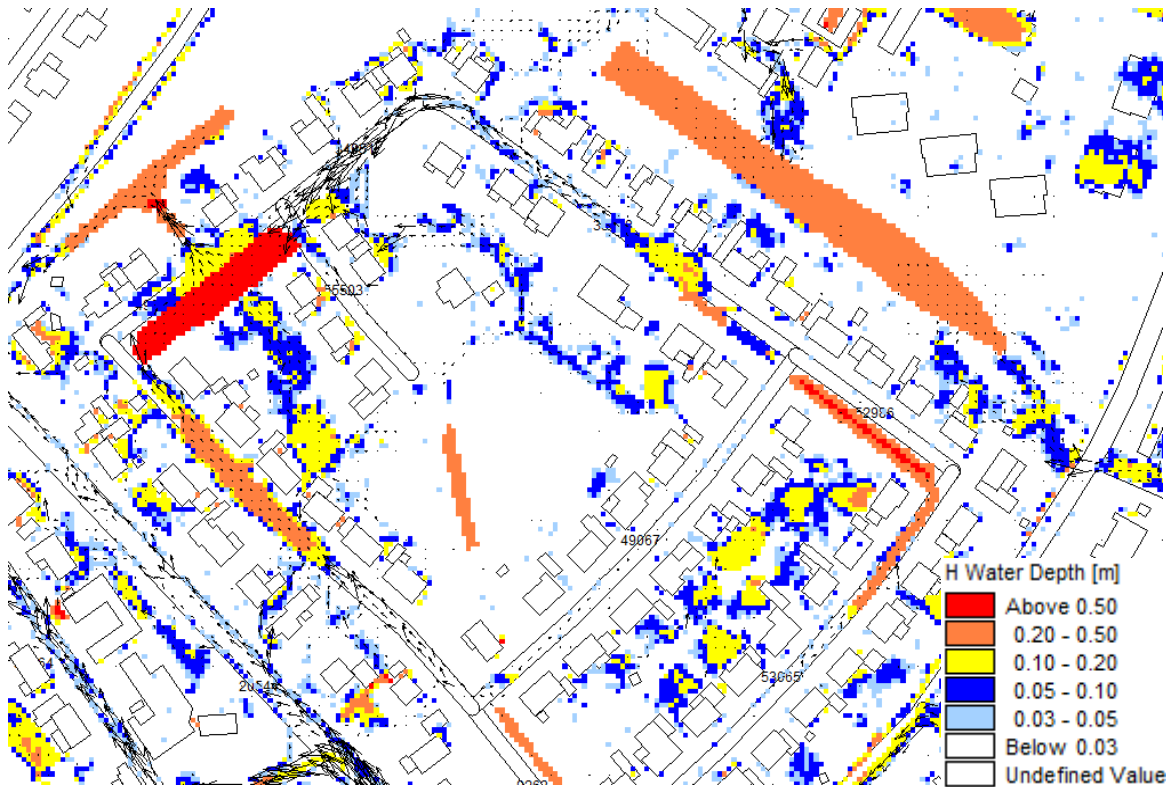


Figur 4 Maxkarterat översvänningsdjup efter åtgärder.

Figur 5 och 6 visar vattendjup och flödesvektorer 41 minuter efter regnets start före respektive efter åtgärder



Figur 5 Översvänningsdjup och flödesvektorer 41 minuter efter regnets start före åtgärder.



Figur 6 Översvämningsdjup och flödesvektorer 41 minuter efter regnets start efter åtgärder.

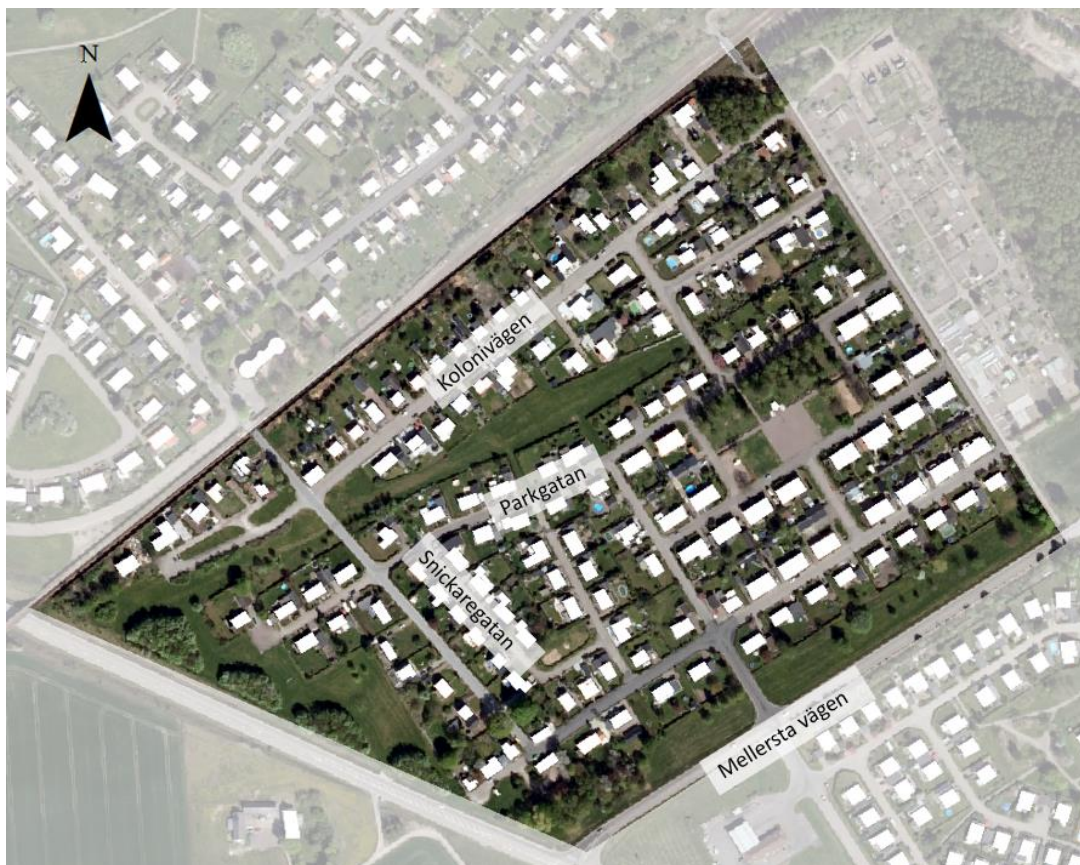
Tabell 1 sammanställer resultat för antal översvämmade fastigheter före och efter åtgärder för fokusområde 1.

Tabell 1 Sammanställt resultat för antal översvämmade fastigheter före och efter åtgärder för fokusområde 1.

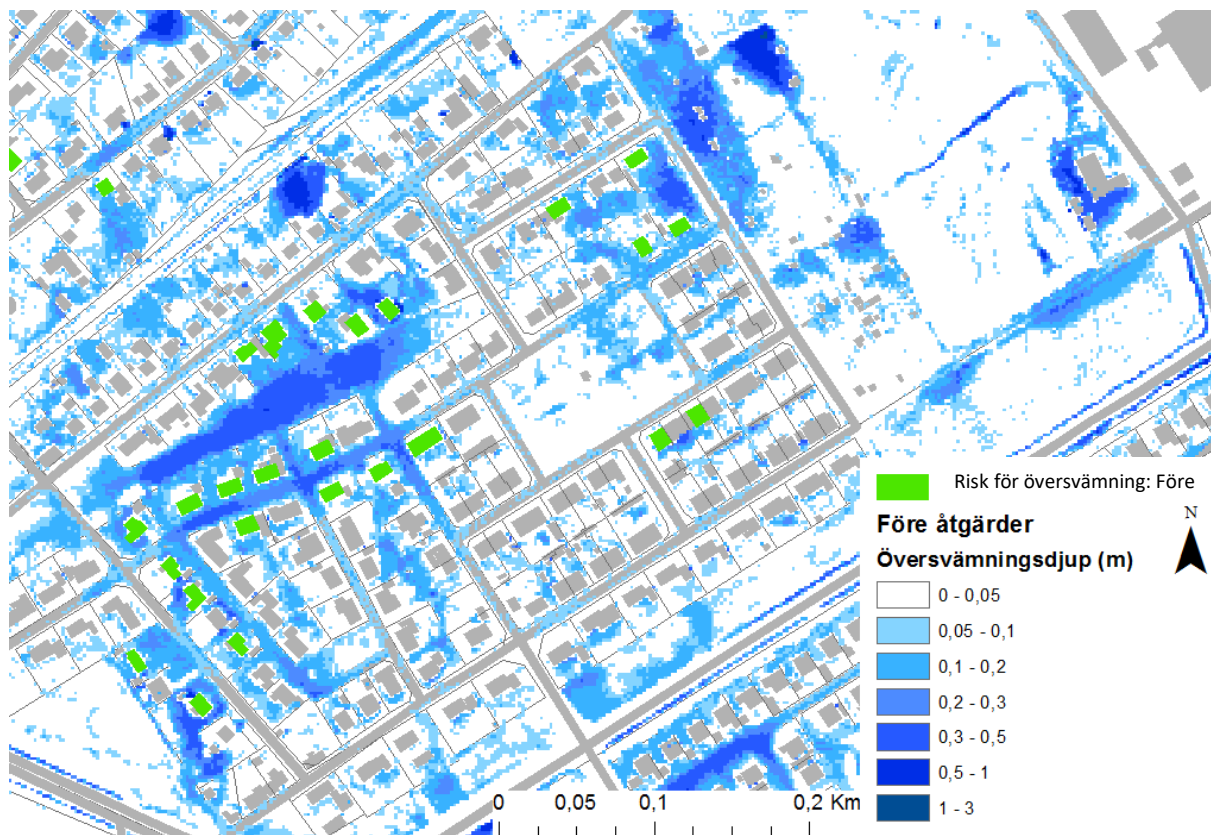
	Antal fastigheter
Bostadshus i fokusområde 1	79
Marköversvämning före åtgärder, 100-årsregn	13
Marköversvämning efter åtgärder, 100-årsregn	3
Marköversvämning före åtgärder, 200-årsregn	27
Marköversvämning efter åtgärder, 200-årsregn	11
Marköversvämning 15 juni	8

Fokusområde 4

Fokusområde 4 består av det kvarter som ligger söder om järnvägen och norr om Mellersta vägen. I området finns 167 bostadshus där bland annat Kolonivägen, Parkgatan och Snickargatan ingår, se Figur 7. Figur 8 visar ett maxkarterat översvämningsdjup för ett 100-årsregn före åtgärder. Figuren visar även vilka fastigheter som enligt framtagna definition blir drabbade av marköversvämning.



Figur 7 Fokusområde 4 i Bjuv



Figur 8 Maxkarterat översvämningsdjup före åtgärder.

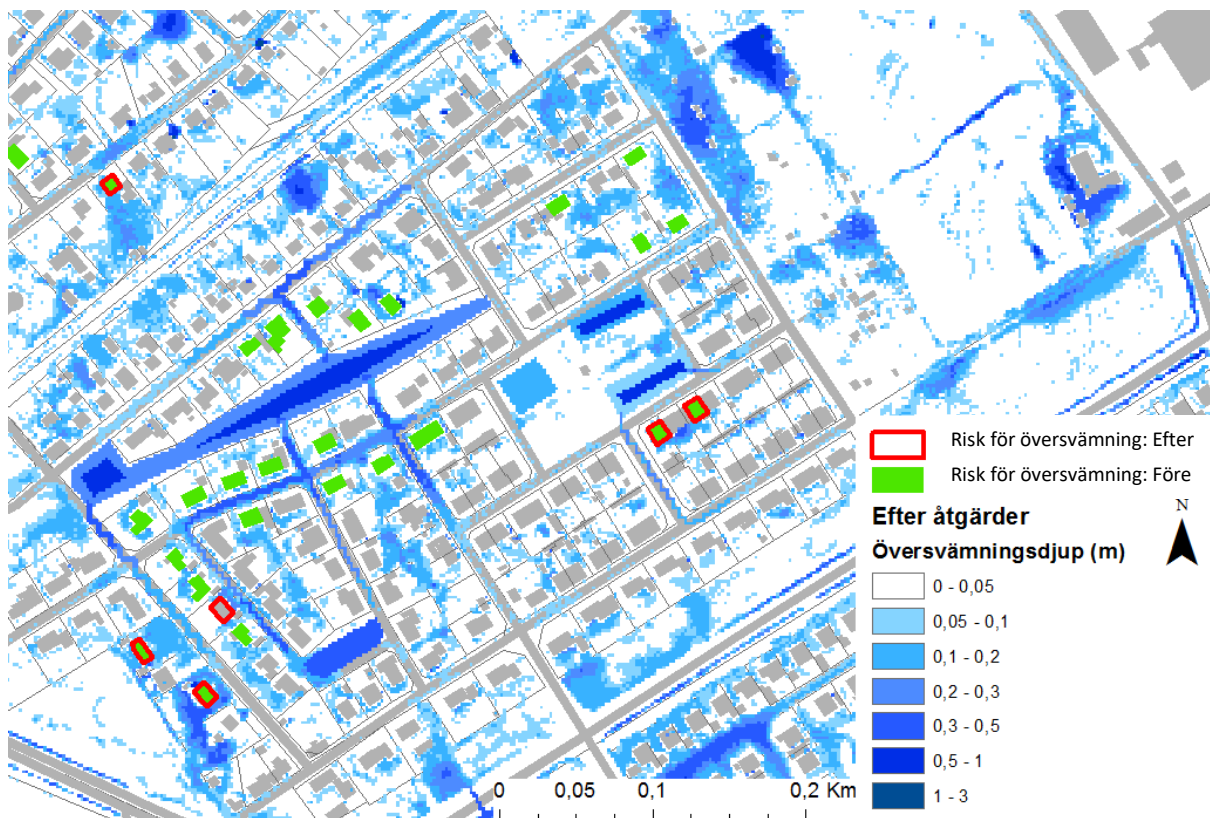
Figur 9 visar vilka åtgärder som vidtagits. Nedan sammanfattas de öppna dagvattenlösningar som implementerats.

- En ca 6500 m² grönyta mellan Kolonivägen och Parkgatan har sänkts med 0.5 och 1 m.
- Rinnvägar anslutande det stora grönområdet har skapats på bland annat Kolonivägen, Parkgatan, Snickaregatan m.fl.
- Kantsten har skapats längs med fastigheter belägna på bland annat Parkgatan, snickaregatan samt andra gator belägna söder om grönområdet.
- En ca 800 m² yta belägen i södra delen av Snickaregatan, har sänkts med 0.5 m.
- Tre ytor belägna i östra delen av området har sänkts med 0.5 och 1 m.



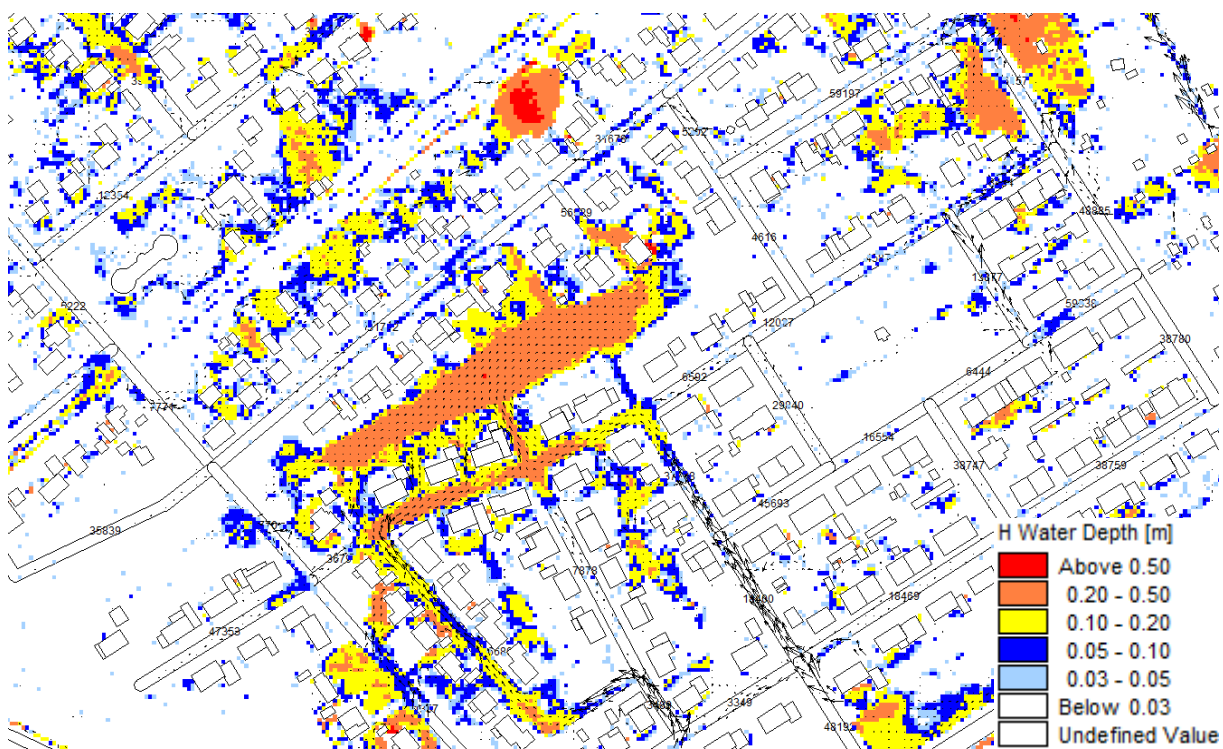
Figur 9 Implementerade öppna dagvattenlösningar på fokusområde 4.

Figur 10 visar maxkarterad översvämningsdjup efter åtgärder vidtagits för ett 100-årsregn. Efter åtgärder av öppna dagvattenlösningar kvarstår 5 fastigheter drabbade av marköversvämnning enligt framtagen definition. Av de tidigare 25 drabbade fastigheter, klarar sig nu ytterligare 20 fastigheter från marköversvämnning enligt framtagen definition.

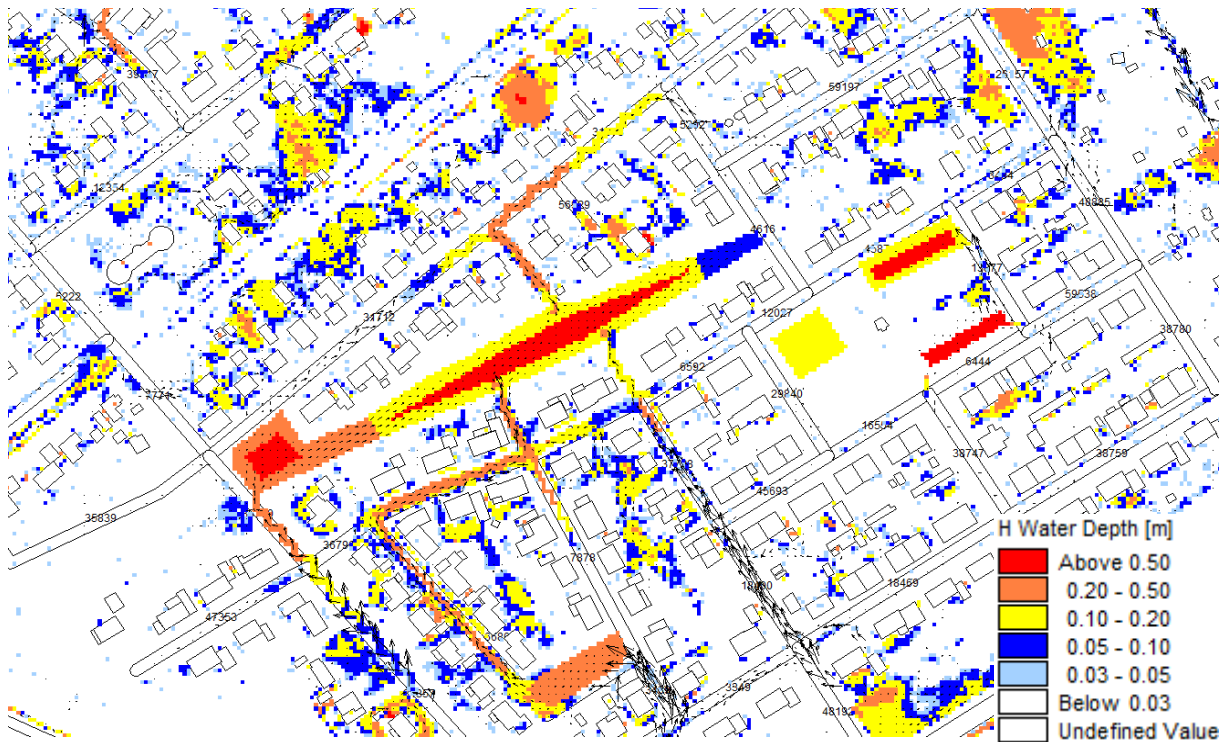


Figur 10 Maxkarterat översvämningsdjup efter åtgärder.

Figur 11 och 12 visar vattendjup och flödesvektorer 41 minuter efter regnets start före respektive efter åtgärder vidtagits.



Figur 11 Översvämningsdjup och flödesvektorer 41 minuter efter regnets start före åtgärder.



Figur 12 Översvämningsdjup och flödesvektorer 41 minuter efter regnets start efter åtgärder.

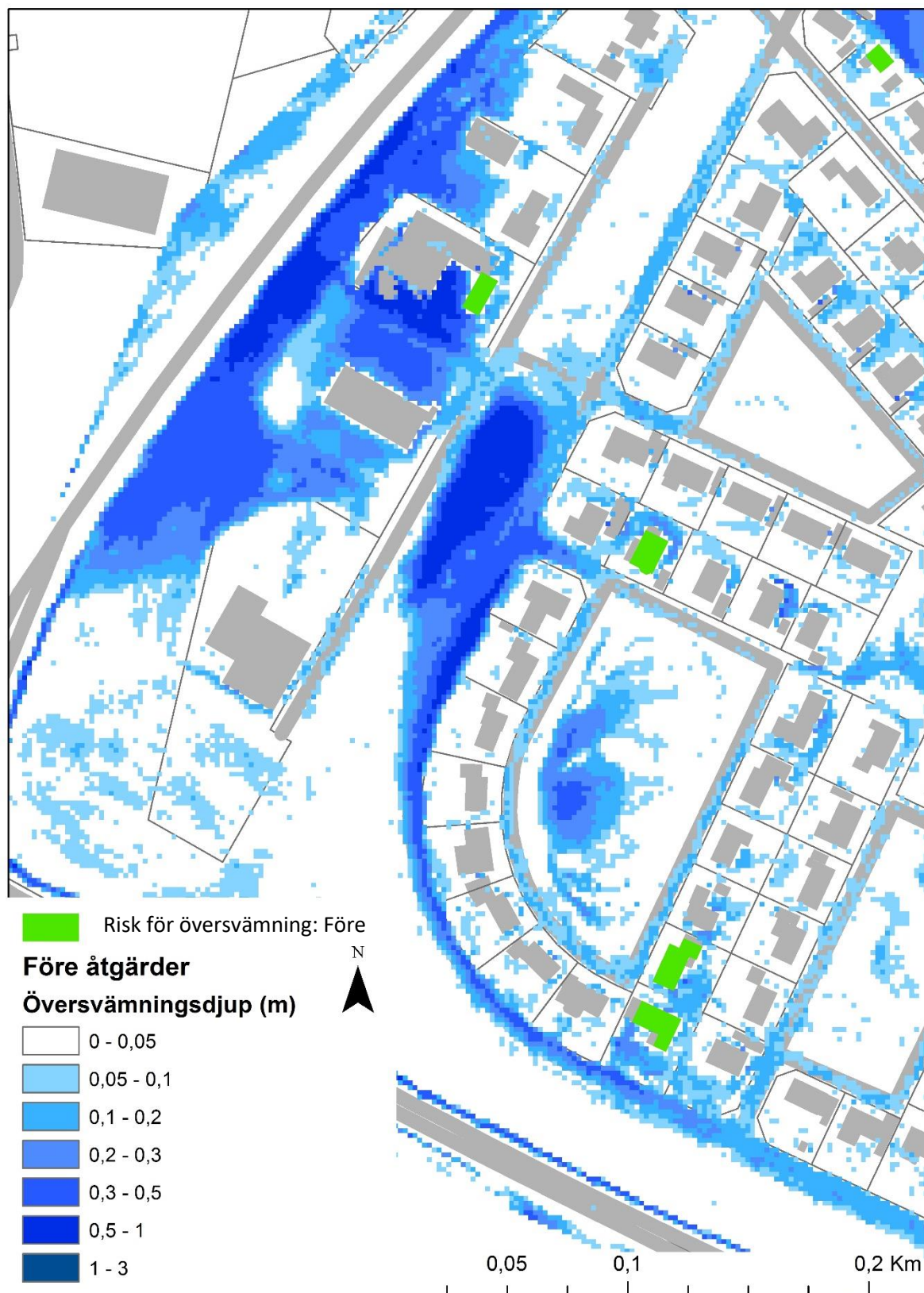
Tabell 2 sammanställer resultat för antal översvämmade fastigheter före och efter åtgärder vidtagits för fokusområde 4.

Tabell 2 Sammanställt resultat för antal översvämmade fastigheter före och efter åtgärder för fokusområde 4.

	Antal fastigheter
Bostadshus i fokusområde 4	167
Marköversvämning före åtgärder, 100-årsregn	25
Marköversvämning efter åtgärder, 100-årsregn	5
Marköversvämning före åtgärder, 200-årsregn	41
Marköversvämning efter åtgärder, 200-årsregn	20
Marköversvämning 15 juni	11

Fokusområde 5

Fokusområde 5 är ett mindre område öster om Norra Vägen och norr om Tjutebrovägen, se Figur 14. Figur 13 visar ett maxkarterat översvämningsdjup för ett 100-årsregn före åtgärder. Figuren visar även vilka fastigheter som enligt framtagna definition blir drabbade av marköversvämning.



Figur 13 Maxkarterat översvämningsdjup före åtgärder.

Figur 14 visar vilka åtgärder som vidtagits. Nedan sammanfattas de öppna dagvattenlösningar som implementerats.

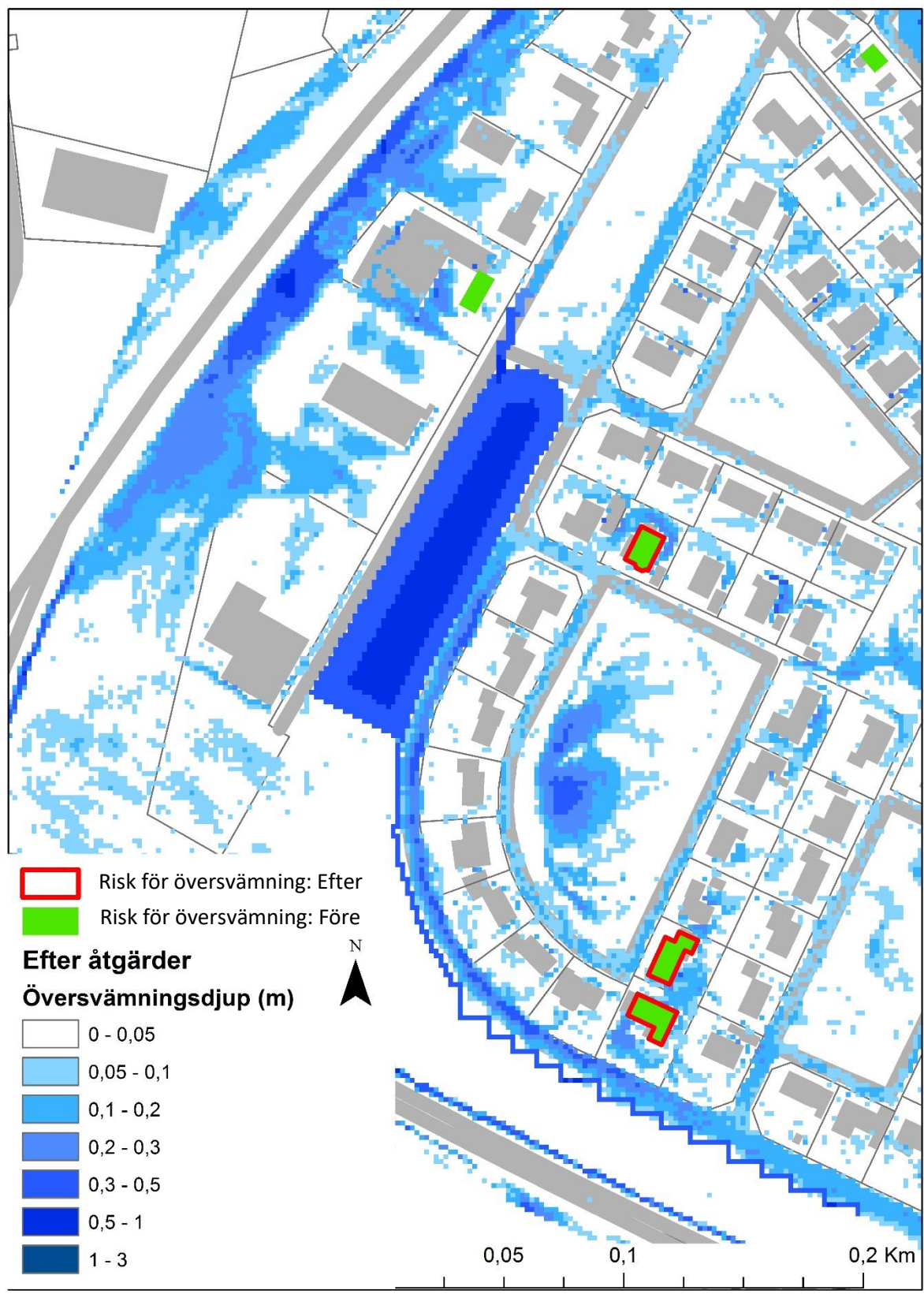
- En ca 5700 m² grönyta beläget väster om Villagatan har sänkt med 0.5 och 1 m respektive.

- Ett svackdike och en rinnväg söder respektive norr om det sänkta grönområdet har skapats.



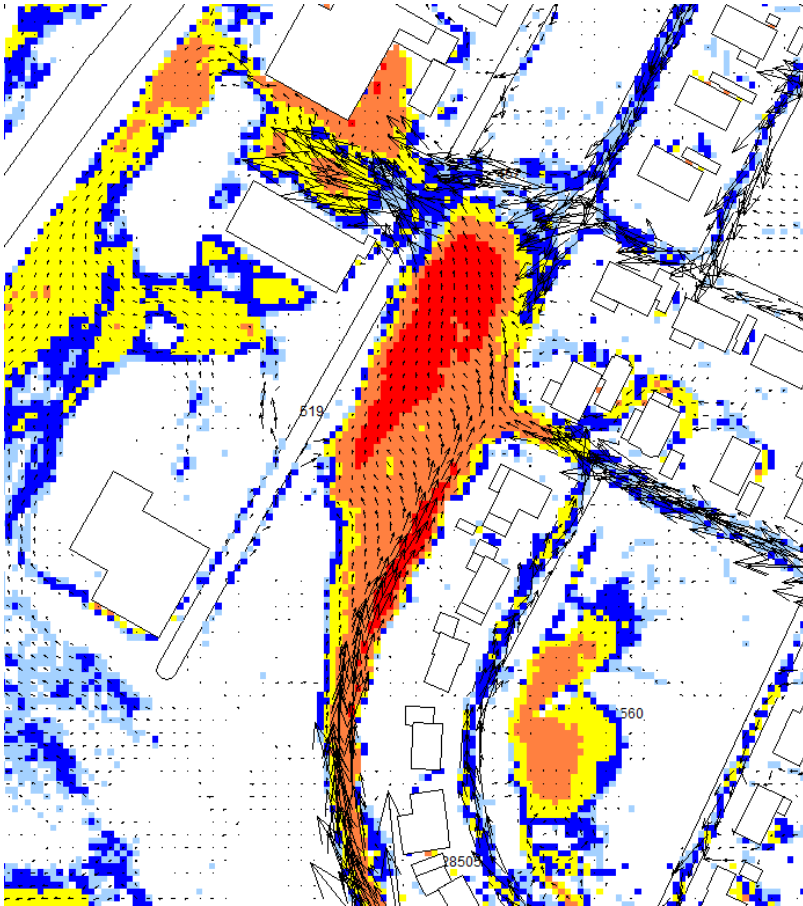
Figur 14 Implementerade öppna dagvattenlösningar på fokusområde 5.

Figur 15 visar maxkarterad översvämningsdjup efter åtgärder för ett 100-årsregn.

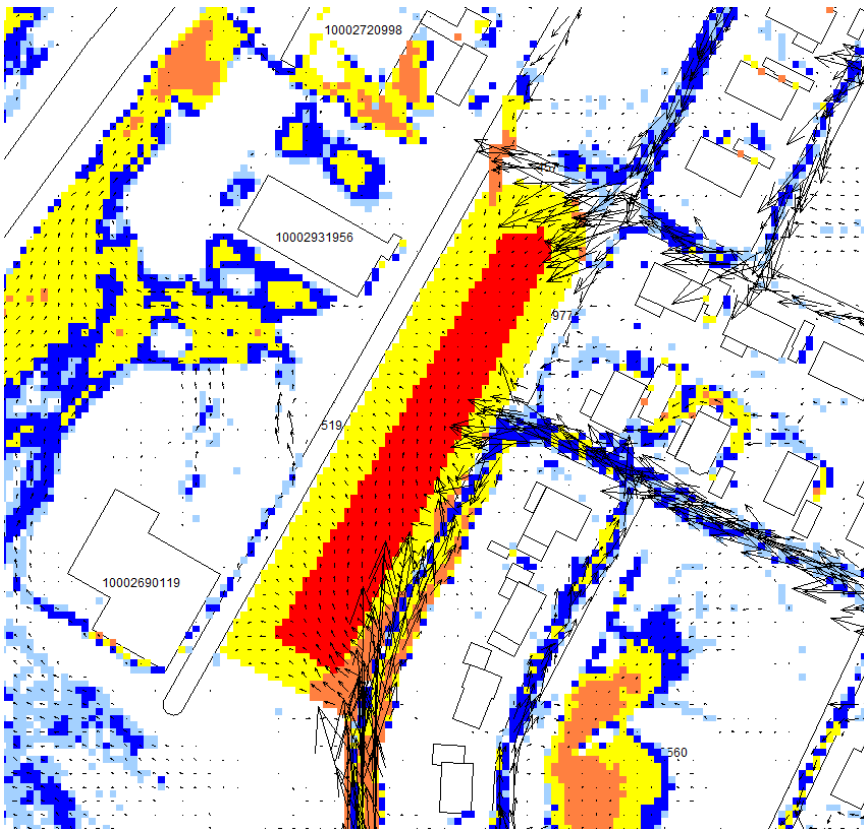


Figur 15 Maxkarterat översvämningsdjup efter åtgärder.

Figur 16 och 17 visar vattendjup och flödesvektorer 25 minuter efter regnets start före respektive efter åtgärder vidtagits.



Figur 16 Översvämningsdjup och flödesvektorer 25 minuter efter regnets start före åtgärder.



Figur 17 Översvämningsdjup och flödesvektorer 25 minuter efter regnets start efter åtgärder.