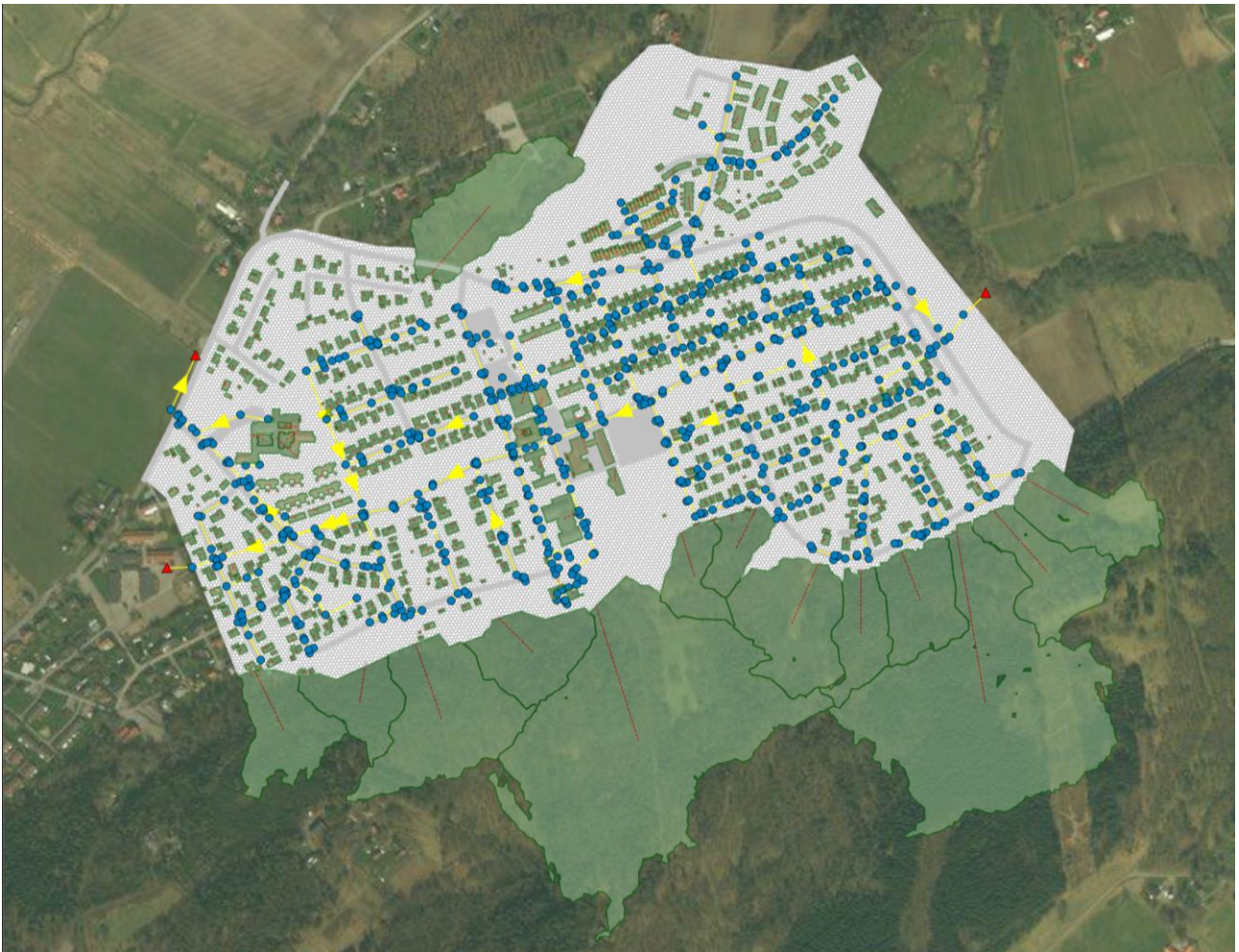




CHALMERS



Framtidssäkra Skepplanda med avseende på översvämningsrisk

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

ERIC BREGELL
ANTON MAGNUSSON

EXAMENSARBETE ACEX20-18-39

Framtidssäkra Skepplanda med avseende på översvämningsrisk

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

ERIC BREGELL

ANTON MAGNUSSON

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Vatten Miljö Teknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2018

Framtidssäkra Skepplanda med avseende på översvämningsrisk

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

ERIC BREGELL

ANTON MAGNUSSON

© ERIC BREGELL & ANTON MAGNUSSON, 2018

Examensarbete ACEX20-18-39

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2018

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Vatten Miljö Teknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Kopplad modell över Skepplanda gjord i PCSWMM. Egen bild.

Framtidssäkra Skepplanda med avseende på översvämningrisk

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

ERIC BREGELL

ANTON MAGNUSSON

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Vatten Miljö Teknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

De mänskliga utsläppen av växthusgaser sedan industrialismen är med absolut största sannolikhet anledningen till de globala klimatförändringarna vi har bevittnat under de senaste decennierna. Dessa förändringar har lett till ökade fall av extremväder vilket i Sverige blivit extra tydligt på västkusten. Om utvecklingen av växthusgasutsläpp fortsätter och inte minskar drastiskt kommer extrema nederbördshändelser att öka ännu mer.

Ökad nederbörd leder till ökade dagvattenflöden vilket blir kritiskt i många städer och samhällen som redan nu upplever problem med dagvattenhantering. En kommun med sådana problem och en historia av översvämningar är Ale kommun strax norr om Göteborg. Tidigare extremväder har lett till stora översvämningar i samhällen inom kommunen, som ligger på lerlager med dålig genomsläplighet. Ett samhälle i kommunen som ännu inte har upplevt extremnederbörd men som när detta inträffar tros påverkas kraftigt är Skepplanda.

Syftet med detta arbete är att undersöka hur ett 100-årsregn skulle påverka området med avseende på marköversvämningar och på vilket sätt tillgängliga grönytor kan nyttjas för att anlägga effektiva dagvattenlösningar som minskar översvämningsskansen. Dessa lösningar ska även vara lätta att sköta ur drift- och underhållssynpunkt samtidigt som de ska kunna säkerställa god vattenkvalitet.

I den här studien modelleras vattenflöden i PCSWMM med en kopplad 1D/2D modell för att undersöka hur det översvämmade ledningsnätet påverkar markavrinning. Markdata och ledningsnätet tillhandahålls av Ale kommun och en litteraturstudie över dagvattenlösningar har gjorts, varifrån de mest lämpade används i åtgärdsförslagen.

Med hjälp av resultaten från modelleringen kan det konstateras att konsekvenserna av ett 100-årsregn i Skepplanda skulle bli stora och är svåra att helt bygga bort. En lösning bestående av tre dagvattendammar och två svackdiken bakom vallar med barriäreffekt minskar översvämningarna i främst två områden, varav ett är Albotorget där många samhällsviktiga verksamheter ligger. Samma åtgärder visar också på en kraftig förbättring vid simulering av ett 30-årsregn, som även det skulle få stora negativa effekter utan vidtagna åtgärder.

Nyckelord: 1D/2D kopplad modell, 100-årsregn, dagvatten, extrem nederbörd, klimatförändringar, skyfall, översvämningssäkra.

Storm water management in Skepplanda

*Degree Project in the Engineering Programme
Civil and Environmental Engineering*

ERIC BREGELL

ANTON MAGNUSSON

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Water Environment Technology
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The increase of greenhouse gas emissions has led to devastating climate changes on our planet. In many places around the world the climate changes lead to more intense rains. The area around Gothenburg is one of the places in Sweden which has major issue with the bigger storms. Because of the bigger storms we have seen a lot more flooding arising in these already vulnerable areas, due to larger amount of storm water.

This report aims to investigate how a 100-year rain event will effect Skepplanda, a small city outside Gothenburg, due to flooding. To decrease the flooding, we investigate the best possible ways to use the green areas to create efficient storm water solutions that are also easy to operate and maintain as well as keep the pollution levels at a minimum.

In this report, flooding is modelled with a connected 1D and 2D model in PCSWMM to investigate how the flooded conduits will affect the surface area. Topographic maps and the conduits were supplied by Ale municipality.

The conclusions from this study is that Skepplanda would experience large scale negative effects from a 100-year rain event and that a total defense against that kind of event would be hard to establish, without very big scale constructions. A solution of three stormwater ponds and two swales working together with small embankments to create a barrier would solve the biggest problems, which includes the town square where the most essential civic functions are located. The same solutions would also prevent the big effects that a 30-year event would cause.

Key words: 1D/2D connected model, 100 year rain event, climate change, cloudburst, extreme weather, flood prevention, storm water management

Innehåll

| | |
|---|-----|
| SAMMANFATTNING | I |
| ABSTRACT | II |
| INNEHÅLL | III |
| FÖRORD | V |
| ORDLISTA | VI |
| | |
| 1 INLEDNING | 1 |
| 1.1 Förutsättningar | 2 |
| 1.2 Syfte | 3 |
| 1.3 Avgränsningar | 3 |
| 1.4 Genomförande | 3 |
| | |
| 2 BAKGRUND | 4 |
| 2.1 Klimatförändringar | 4 |
| 2.2 Dagvatten | 4 |
| 2.2.1 Nederbörd, skyfall och återkomsttid | 5 |
| 2.2.2 Dagvattenlösningar | 6 |
| 2.2.3 Översvämningsrisk | 13 |
| 2.3 Modelleringssteori | 14 |
| 2.3.1 Begrepp inom dagvattenmodellering | 15 |
| 2.3.2 Uppbyggnad av modell | 17 |
| | |
| 3 METOD | 20 |
| 3.1 Områdesbeskrivning | 20 |
| 3.2 Modelluppbyggnad | 21 |
| 3.2.1 Kartunderlag | 22 |
| 3.2.2 CAD | 23 |
| 3.2.3 GIS | 23 |
| 3.2.4 PCSWMM | 23 |
| 3.2.5 Åtgärder i modellen | 25 |
| | |
| 4 RESULTAT | 26 |
| 4.1 Översvämnning utan åtgärder | 26 |
| 4.1.1 30-årsregn | 27 |
| 4.1.2 100-årsregn | 28 |
| 4.2 Översvämnning efter åtgärder | 30 |
| 4.2.1 Åtgärdernas effekt vid 30-årsregn | 30 |
| 4.2.2 Åtgärdernas effekt vid 100-årsregn | 31 |
| 4.2.3 Tidsförlopp innan och efter åtgärd | 33 |

| | | |
|---|------------|----|
| 5 | DISKUSSION | 34 |
| 6 | SLUTSATSER | 36 |
| 7 | REFERENSER | 37 |

Förord

Denna rapport är vårt avslutande examensarbete vid Chalmers tekniska högskola, samhällsbyggnadsteknik som högskoleingenjör. Arbetet omfattade 15 hp och utfördes på Norconsults VA-avdelning i Göteborg. Idén utformades i samråd med vår handledare Emma Nilsson Keskitalo på Norconsult, Ann-Charlott Svensson på Ale kommun och våra två handledare Karin Björklund och Mia Bondelind på Chalmers.

Stort tack för all hjälp och stöd vi har fått från våra handledare under arbetets gång. Anton vill speciellt tacka för det goda brödet på morgonen och det kopiösa mängderna kaffe Norconsult har försett honom med under det långa dagarna när modelleringen krånglade. Extra stort tack till Karin och Mia för er positiva inställning och värdefulla feedback.

Göteborg, maj 2018
Eric Bregell och Anton Magnusson

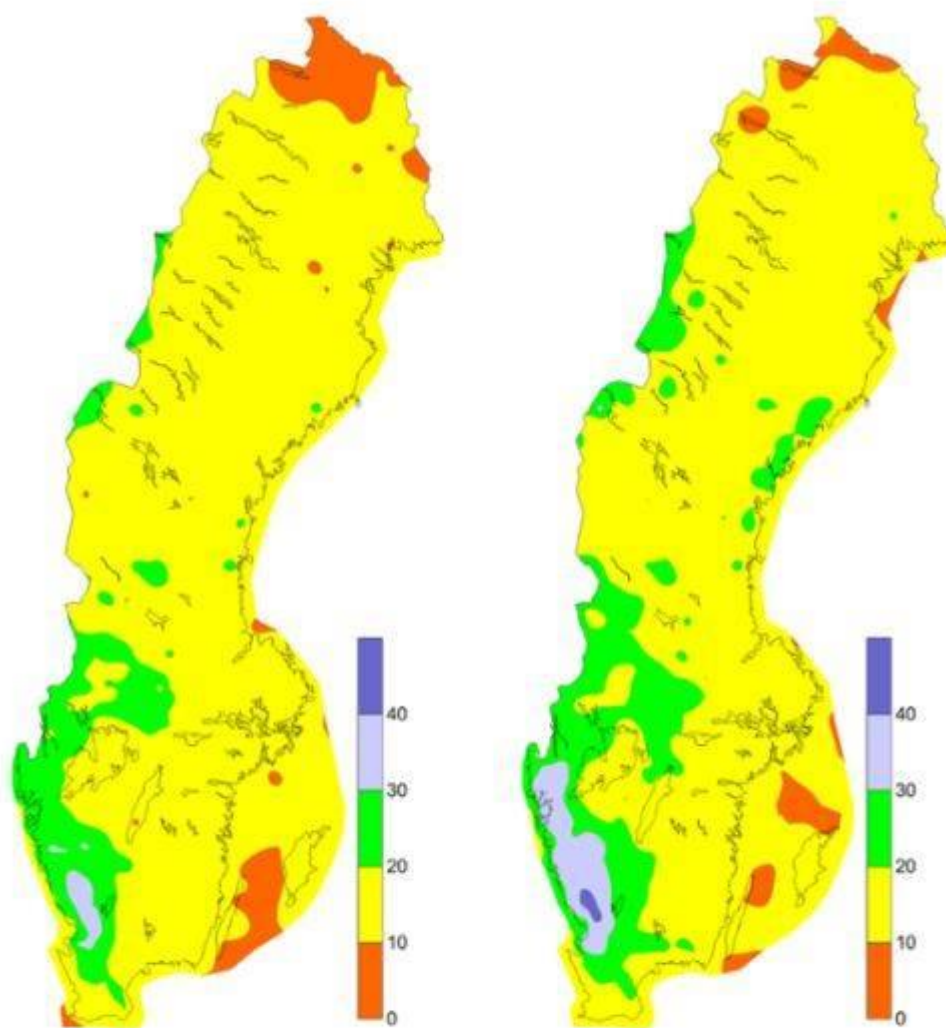
Ordlista

| | |
|----------------------------------|--|
| <i>Avrinningsområde</i> | Ett område inom vilket dagvattnet rinner till samma vattendrag. I mindre skala kan detta vara att allt vatten från en tomt rinner till samma dike och i större skala att vattnet från en stad rinner till havet. |
| <i>Biogeokemi</i> | Vetenskapen om de processer som styr grundvännens kretslopp och deras förändringar i naturen. |
| <i>Extremregn</i> | Regnmängd som väsentligt överstiger det normala. Detta kan studeras under olika tidsperioder som per timme eller per månad. |
| <i>Intensitet</i> | Beskriver hur häftig en händelse är. I nederbördssammanhang beskrivs den ofta i mm/h. |
| <i>Meter vattenpelare</i> | En tryckenhet som beskriver hur högt tryck som bildas av i en behållare med vatten. |
| <i>Multifunktionell yta</i> | En yta som fungerar för både dagvattenhantering och rekreation. |
| <i>Nod</i> | En punkt i modellen som kopplar ihop ledningar med varandra eller markytan. De kan alltså representera knytpunkter eller brunnar. |
| <i>Perkolation</i> | Vatten som rör sig nedåt i jordprofilen mot grundvattnet. |
| <i>Rinntid</i> | Den maximala tid det tar för regn inom avrinningsområdet att rinna till den punkt där vattnet avleds från området. Är beroende av sträckan och hastigheten. |
| <i>Recipient</i> | Det vattendrag som tar emot avrinnande dagvatten. |
| <i>Samhällsviktig verksamhet</i> | De verksamheter och tjänster som upprätthåller viktiga samhällsfunktioner så som sjukvård och skola. |
| <i>Skyfall</i> | Regn som faller med en intensitet av minst 50 mm per timme eller minst 1 mm per minut. Skyfall är alltså beroende av intensiteten och inte bara mängd (som är fallet för extremregn). |

| | |
|-----------------------------|---|
| <i>Sorption</i> | Upptagande av en atom eller molekyl av ett annat ämne. |
| <i>Subcatchment</i> | I modelleringsammanhang ett avrinningsområde inom vilket egenskaper som råhet, infiltration och medellutning bestäms. |
| <i>Suspenderat material</i> | Mindre partiklar som transporteras i vattnet och sedimenterar då vattnet är mer eller mindre stilla. |
| <i>Transpiration</i> | En växts avgivande av vattenånga. |
| <i>Återkomsttid</i> | Det tidsintervall inom vilken en nederbördshändelse förväntas inträffa eller överträffas en gång. |

1 Inledning

Under de senaste decennierna har ett varmare klimat med allt kraftigare regn och mer extremväder konstaterats (Figur 1). Detta leder till många nya utmaningar för framtida samhällen och de samhällsbyggare som ska vara med och utforma dessa. En följd av ökande regnmängder är att områden som tidigare varit skonade från översvämningar löper större risk att drabbas. Det innebär också att samhällen med tidigare erfarenhet av översvämningar har fler och värre översvämningar att vänta. Ett sådant exempel är Ale kommun strax norr om Göteborg.



Genomsnitt för året av antalet fall med dygnsnederbörd på minst 10 mm baserat på observationer för åren 1961-1990.

Genomsnitt för året av antalet fall med dygnsnederbörd på minst 10 mm baserat på observationer för åren 1991-2013.

Figur 1 Genomsnittligt antal dagar per år med dygnsnederbörd på minst 10 mm i Sverige. Det har skett en ökning av antalet dagar från perioden 1961-1990 och 1991-2013, en av de största ökningarna har skett i Västsverige (SMHI, 2017).

1.1 Förutsättningar

I arbetet med framtida vattenfrågor har Ale kommun identifierat riskzoner som i framtiden väntas löpa risk att drabbas av översvämningar. Ett område som tidigare varit skonat från extrem nederbörd, men där stora konsekvenser väntas när en sådan händelse inträffar, är centrala Skepplanda. Området ligger i en dalgång på postglacial finlera med dålig genomsläpplighet (Figur 2 & Figur 3). För att få en bättre bild över vad som kan väntas i framtiden och då kunna undvika omfattande översvämningar med ekonomiska och materiella skador, vill Ale kommun modellera effekterna av ett 100-årsregn för att därifrån kunna ta fram lämpliga dagvattenlösningar.



Figur 2 Jordarter i de centrala delarna av Skepplanda, det framgår att samhället ligger på lera (SGU, u.å.).



Figur 3 Genomsläppligheten i Skepplanda. Eftersom samhället ligger på lera går det här att tydligt se hur detta påverkar genomsläppligheten som är låg i hela de centrala delarna (SGU, u.å.).

1.2 Syfte

Syftet med arbetet var att undersöka vilka konsekvenser kraftiga regn kan ha på fallstudieområdet, med avseende på översvämmade dagvattenledningar och mark, och utifrån detta presentera förslag på åtgärder och lösningar för att minska översvämningsrisken, främst vid samhällsviktig verksamhet. Målet var att kunna utnyttja de kommunägda grönytor som finns för att skapa multifunktionella ytor, med öppna lösningar på dagvattenhanteringen som även säkrar mot översvämming. Viktigt var även att väga in hur lättskötta lösningarna är, för att säkerställa att drift och underhåll kan skötas utan för höga kostnader. Resultatet som presenteras visar på ett före och efter scenario vid ett 30- respektive 100-årsregn.

Specifika frågor som besvaras inom projektet är:

- Kan Skepplanda utnyttja befintliga grönytor för att bygga multifunktionella dagvattenlösningar som med hjälp av fördröjning minskar översvämningsarna som i dagsläget förväntas vid ett 100-årsregn?
- Hur ska dessa dagvattenåtgärder skötas med avseende drift och underhåll?
- Ger modelleringen rimliga och pålitliga resultat utifrån topografi och markförhållanden?
- Hur påverkas simuleringsresultaten med avseende på olika nederbördsscenarier?

1.3 Avgränsningar

Arbetet avgränsades till de centrala delarna i Skepplanda. Även om hänsyn togs till ett större tillrinningsområde studerades inte konsekvenserna utanför detta område. Konsekvenserna som behandlas i denna rapport är ytöversvämming, till följd av underdimensionerade ledningsnät och topografins förmåga att avleda ytvattnet. Inga flödesmätningar utfördes vilket medför att flöden inte kan kontrolleras med verkliga resultat. Efter att ha studerat områdets markanvändning kunde råhet och infiltration på mark och i ledningar väljas från tabellvärden som rekommenderas av modelleringsprogrammet PCSWMM.

1.4 Genomförande

I arbetet var Norconsult delaktiga med sin erfarenhet av liknande projekt och med intressen i att hitta nya, pålitliga sätt att modellera för så kallade kopplande system där både ledningsnät och ytavrinning simuleras i samma modell. För att få tillgång till nödvändiga data bidrog Ale kommun med ritningar över dagvattensystemet och bebyggelse samt höjddata över området. Information om markens material och genomsläpplighet hämtades från SGU. Modellering av översvämming i ledningar och på mark utfördes i PCSWMM med GIS och CAD som stöd. Under arbetets uppstartsfas undersöktes vilka program med möjlighet att koppla ett ledningsnät till en markmodell som fanns att tillgå och det beslutades att modelleringen skulle ske i programmet PCSWMM. Parallellt med modelleringsprocessen gjordes en litteraturstudie som fokuserades på öppna dagvattenlösningar samt hur modeller på bästa sätt ska skapas för att ge så verklighetstroga resultat som möjligt.

2 Bakgrund

För att förstå varför dagvattensmodellering blir allt viktigare inom samhällsbyggnad och hur sådana modeller byggs upp och används, behövs vissa grundkunskaper inom ämnet. Det här kapitlet visar på hur modeller kan användas för att planera för framtida scenarier, samtidigt som exempel på hur lösningar kan implementeras i verkligheten ges.

2.1 Klimatförändringar

Sedan industrialismens början har de mänskliga utsläppen av koldioxid och andra växthusgaser ökat markant. Detta är med absolut största sannolikhet anledningen till de globala klimatförändringarna som konstaterats under de senaste 60 åren (WWF, 2016). Hur dessa förändringar kommer att påverka klimatet i framtiden är svårt att exakt förutsäga. Något som redan har observerats är ökade fall av extrem nederbörd i bland annat Västsverige, detta visar olika framtidsscenarier kommer öka ännu mer de kommande åren (SMHI, 2017). Att simulera och planera för dagvattenflöden i framtida regnscenarier är därför något som får allt större uppmärksamhet och vikt inom samhällsplaneringen (Länsstyrelsen, 2017).

2.2 Dagvatten

Dagvatten är det vatten som tillförs genom nederbörd och inte infiltreras i marken utan leds bort på markytan. Med ökande förtätning och bebyggelse ökar mängden hårdgjorda ytor som medför ökade dagvattenflöden, eftersom den naturliga infiltrationen förhindras (Stahre, 2004). Detta leder till större flödestoppar i dagvattensystemen, vilket leder till överbelastning och översvämning och kan, i kombinerade dag- och spillvattensystem, resultera i upptryckning av vatten i källare och utsläpp av bräddat, orenat avloppsvatten till recipienten. Ytterligare en negativ miljöeffekt som kommer med dagvattenflöden i urbana områden är att vattnet som rinner över ett område för med sig föroreningar som tungmetaller, kväve och oljespill till recipienten (Bengtsson, 2014). Ett effektivt sätt att förhindra uttransport av dessa ämnen är att fördröja dagvattnet i t.ex. dammar, genomsläppliga beläggningar eller andra konstruktioner. Utöver denna fördel hjälper fördröjande konstruktioner även till med att hantera flödestoppar i ledningsnätet. Den traditionella lösningen på problem med överbelastade avloppssystem är att bygga ut ledningsnätet för att öka dess kapacitet (Stahre, 2004). Det leder till att nätet överdimensioneras vilket ger en högre kostnad samtidigt som underhållsarbeten och eventuella reparationer sker under jord, vilket är svårhanterligt och dyrt. Att istället fördröja dagvattnet med öppna dagvattenlösningar innan det når ledningsnätet är en billigare, mer estetiskt tilltalande och lättskött lösning då förhållandevis lågteknologiska lösningar byggs på marken.

Vid planeringen av ett dagvattensystem måste specifika områdesegenskaper som avrinningskoefficienter och topografi beaktas. Ett regn som faller över ett flackt område med mycket åkermark kommer inte få samma effekter som om det skulle falla över ett område inklämt i en dal med mycket hårdgjorda ytor. För att kunna planera efter realistiska och rimliga scenarier är det också viktigt att ha information om nederbördsstatistiken för området, om det kan förväntas ökade nederbördsmängder och i så fall hur stora dessa antas bli.

2.2.1 Nederbörd, skyfall och återkomsttid

Jordens vatten befinner sig ett ständigt kretslopp där vatten från vattendrag och mark avdunstar och bildar vattenånga som stiger upp i atmosfären där den kondenserar (SMHI, 2013). När sedan detta vatten faller ner mot jorden igen gör vattnet det i form av hagel, snö eller regn: oberoende av i vilken form vattnet faller är det detta som kallas nederbörd. Enligt SMHI (2011) är nederbörd som faller med en intensitet på minst 50 mm per timme eller 1 mm per minut så kallade skyfall. Under de senaste 40 åren har skyfallen i Sverige ökat (SMHI, 2012).

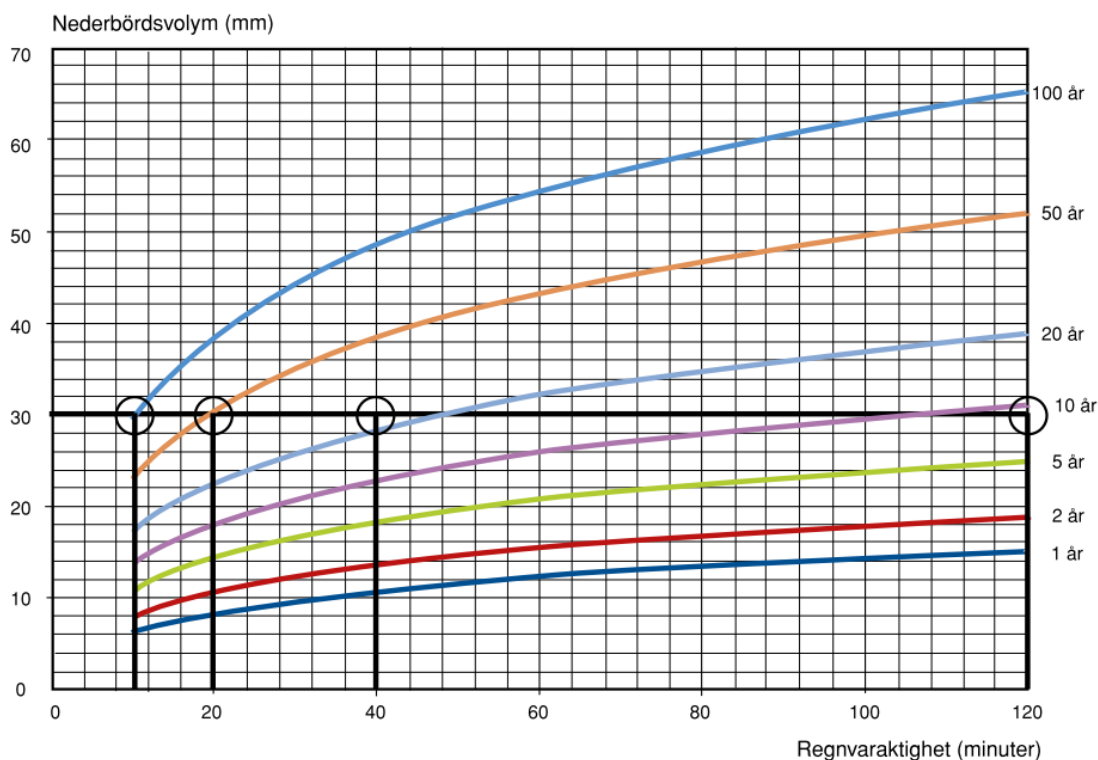
Genom insamlad statistik över nederbördsmätningar går det att beräkna sannolikheten för en viss typ av regnscenario, detta ligger till grund för det som kallas återkomsttid, vilket innebär att en viss händelse sannolikt inträffar eller överträffas en gång under denna period (SMHI, 2015b)(Tabell 1).

Tabell 1 Återkomsttid och sannolikhet för olika typer av regnscenario (SMHI, 2015b)

| Åter- komst tid (år) | Sannolikhet under 2 år (%) | Sannolikhet under 10 år (%) | Sannolikhet under 50 år (%) | Sannolikhet under 100 år (%) |
|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 2 | 75 | 100 | 100 | 100 |
| 10 | 19 | 65 | 99 | 100 |
| 50 | 4 | 18 | 64 | 87 |
| 100 | 2 | 10 | 39 | 63 |

Eftersom återkomsttiderna beräknas på uppmätt data förutsätter deras tillförlitlighet att klimatet, och därmed sannolikheten för en viss regnhändelse, är samma över tid (SMHI, 2015b). När vi nu står inför ett förändrat klimat kan inte återkomsttider längre baseras på uppmätt data utan framtida klimatscenarior behöver analyseras för nya sannolikhetsberäkningar. Beroende på vilka klimatscenarior som analyseras fås olika resultat, men alla pekar på en ökad sannolikhet för tätare återkomsttid för olika regnscenario i Sverige.

För att bedöma återkomsttiden för ett visst regn räcker det inte med att betrakta volymen, det som avgör huruvida det är ett 1- eller 100-årsregn är dess volym i förhållande till dess varaktighet (Svenskt Vatten, 2016). Som exempel betyder nederbörd på 30 mm under 10 minuter att det är ett 100-årsregn, medan 30 mm på 120 minuter klassas som ett 10-årsregn (Figur 4).



Figur 4 Nederbördsvolym och varaktighet, de olika kurvorna representerar återkomsttiden som alltså är en funktion av nederbördsvolymen och varaktigheten för regnet. På bilden syns 30 mm nederbördsvolym avläst vid 10, 20, 40 och 120 minuter och hur detta relateras till återkomsttid (Svenskt Vatten, 2016).

Beroende på vilken säkerhet som behöver beaktas välj olika återkomsttider när framtidsscenarior studeras (SMHI, 2015b). Det är t.ex. mycket känsligare om en damm som riskerar människoliv vid dammbrott går sönder än om den största risken i området är källaröversvämningar.

2.2.2 Dagvattenlösningar

Inom detaljplanen finns det krav på att dagvatten ska omhändertas, men dessa krav är vagt formulerade och bestämmer inte hur vattnet skall avledas. Detta beror på att de enda gemensamma regler som finns i Sverige är Svenskt Vattens rekommendationer (Svenskt Vatten, 2017). En viktig del i en mer hållbar dagvattenhantering är att det tidigare sättet med att bygga kombinerade dag- och spillvattensystem har övergivits då de medförde problem med drift och underhåll i reningsverk samt bräddning (Länsstyrelsen, 2009). Istället för de kombinerade systemen leds Sveriges spill- och dagvatten i dag genom i huvudsak separata system, men dagvattnet har fortsatt att vara i slutna system vilket ändrar vattnets naturliga kretslopp med bl.a. infiltration till grundvatten och transpiration (Figur 5) (Länsstyrelsen, 2009, Sörngård, 2009). Så som dagvattensystem tidigare byggts har fokus legat på en primär uppgift, vilken varit att leda bort vattnet från samhällen. I samband med en bredare uppmärksamhet om, och politiskt engagemang i, hållbarhetsfrågor har fokus på senare år skiftat över för att, förutom det uppenbara målet med bortledning av vatten, även väva in att systemen ska ha en rekreativ och renande funktion (Zhou, 2014). Målet med framtidens hållbara dagvattenhantering är att istället för att så fort som möjligt leda bort stora volymer vatten se till att upprätthålla god transportförmåga i kombination med att vattnet som

når recipienten inte är förorenat och att vägen dit ger positiva inslag i stadsbilden (Stahre, 2004). Detta har lett till ett arbetssätt inom dagvattenhantering där öppna lösningar är centralt.



Figur 5 Till vänster visas ett kombinerat system där avlopps-, drän- och dagvatten leds bort genom samma ledning. Till höger syns ett separat system där drän- och avloppsvatten leds bort genom en ledning och dagvattnet genom en annan (Svenskt Vatten, 2016).

Öppna dagvattenlösningar kan delas in i tre olika kategorier beroende på var i avrinningskedjan åtgärden sätts i, avgränsningen mellan kategorierna har därför inte med den tekniska lösningen i sig att göra (Stahre, 2004). En viss teknisk lösning kan tillämpas i fler än en kategori men dess lämplighet och applicering kan skilja beroende på vilken kategori det handlar om. Nedan följer en sammanfattning av kategorierna och vilka tekniska lösningar som kan ingå i dessa.

Lokalt omhändertagande på privat mark

Inom denna kategori ingår åtgärder som minskar eller fördröjer avrinningen från privat mark innan vattnet når det allmänna dagvattennätet (Stahre, 2004). Denna kategori fokuserar på åtgärder på mindre tomter där en enskild tomts minskning på dagvattenflödet inte nödvändigtvis ger så stort utslag, men den sammantagna effekten av dessa tillämpningar i ett område ger stora effekter.

- **Gröna tak.** Vid mindre regn tas nederbörden ofta helt upp på taken, men vid stora regn försvinner fördröjningseffekten eftersom taket blir vattenmättat och förlorar därför sin funktion vad gäller dagvattenhantering (Stahre, 2004). Över en längre period tar ett grönt tak upp ca. hälften av nederbörden som faller. Även om fördelarna vid kraftiga regn är begränsade medför gröna tak fördelar till stadsbilden, mikroklimatet i staden och biodiversiteten samtidigt som avrinningen vid mindre regn minskar kraftigt (SMHI, 2015a). Beroende av storlek och typ av växtlighet som väljs på ett grönt tak varierar skötselbehovet från att vara som för en trädgård med bevattning, klippning och rensning till att behöva tillsyn ungefär en gång per år för kontroll av växtligheten. Ett grönt tak kan av förståeliga skäl inte ta hand om markföroreningar, utan det som renas genom dessa är främst näringsämnen som faller med regnet (Blecken, 2016). Viktigt att tänka på är att vissa tak behöver gödslas för att de ska överleva. Då riskerar taket att få motsatt effekt och släppa ut mer näringsämnen än det tar upp. Därför behöver försiktighetsåtgärder för att förhindra detta vidtas och helst ska gödning av gröna tak helt undvikas.



Figur 6 Grönt tak över en cykelparkering. Egen bild.

- Infiltration av takvatten på gräsytor. Avrinning från tak sker snabbt och ger stora tillskott av vatten till dagvattensystemet. I stället för att stuprören kopplas till ledningsnätet kan vattnet låtas infiltrera på en gräsmatta (Stahre, 2004). På så vis avlastas ledningsnätet, men det måste säkerställas att vattnet som släpps på gräsmattan inte rinner mot huset som kan riskera fuktskador och att åtgärder finns att ta hand om eventuellt överskottsvatten. Den mesta vattenupptagningen sker i vegetationszonen vilket medför att lokal infiltration kan nyttjas även om de underliggande lagren är täta. Förutom att minska avrinningsvolymen kommer vattnet som infiltrerar att renas från partiklar och partikelbundna föroreningar som fångas upp i marken (Blecken, 2016). Experimentella resultat visar på att reningsgraden kan ligga runt 90 % för partiklar och metaller medan en något lägre rening (85 %) visas för kväve och fosfor. Då dessa resultat har erhållits från kontrollerade försök i främst labbmiljöer kan en lägre rening väntas i verkligheten, där 25–50 % är rimligt. Beroende på vilket material som är under gräsytan påverkas dess funktion: grövre material infiltrerar bättre men renar sämre. För att funktionen (både infiltration och rening) ska fungera behöver ytan ses över för att säkerställa att den inte sätts igen av t.ex. sediment och fallna löv.
- Genomsläppliga beläggningar på privat mark. En vanlig åtgärd på parkeringsplatser är att den stora hårdgjorda ytan som en parkering ofta utgörs av byts ut mot en genomsläpplig t.ex. hålsten av betong eller naturgrus genom vilken infiltration och rening kan ske på samma sätt som för *infiltration av takvatten på gräsytor* (Blecken, 2016; Stahre, 2004). För att en sådan yta inte ska sättas igen och förlora sin funktion krävs dock underhållsarbete som kan vara omfattande beroende på material och föroreningsnivå på vattnet (Stockholms stad, 2016).
- Stenfyllningsmagasin (eller stenkista). Stenkistor är ett underjordiskt magasin som är fyllt med makadam eller något annat grovt material (Stahre, 2004). Stenkista är ett alternativ då takvatten inte kan ledas ut på en infiltrationsyta utan istället leds till magasinet, vattnet töms antingen via ett dräneringssystem eller perkolation till

omgivande mark. Reningseffekten i ett stenfyllningsmagasin är den samma som för tidigare nämnda infiltrationslösningar (Blecken, 2016). En risk med stenkistor är att porvolymen sätts igen av inträngande jord eller föroreningar som kommer med vattnet. För att undvika dessa problem rekommenderas att makadammet skyddas av fiberduk och att vattnet filtreras genom t.ex. en filterbrunn innan det leds in i magasinet (Stahre, 2004). Trots dessa åtgärder kommer magasinet att sättas igen och livslängden innan fyllningsmassorna måste bytas beräknas till några decennier.

- Svackdiken på privat mark. I flerbostadsområden eller andra större fastigheter kan grunda dikessystem, s.k. svackdiken, tillämpas (Stahre, 2004). Svackdiken har en svag lutning i riktningen och kan med fördel vara gräsbeklätt för att kombinera infiltration och öppen avledning. I slutet av diket brukar en kupolbrunn anläggas för att leda eventuellt överskottsvatten till ledningsnätet. Den primära reningen i svackdiken är sedimentation av grövre material men även metallföroreningar och suspenderat material har visats renas med upp mot 20 % (Blecken, 2016). Utformningen av diket påverkar dess reningsförmåga där ett långt dike med stryp utlopp i kombination med t.ex. våtmarksväxter är att föredra.
- Fördröjningsdammar på privat mark. För att bromsa upp vattenavrinning från tomtmark kan vatten ledas in i en damm som kan fylla ett rekreativt syfte samtidigt som stora mängder vatten kan samlas upp, sedimentera och renas från tungmetaller och näringsämnen (Stahre, 2004; Vikström, Gustafsson, German, & Svensson, 2004). Enligt Blecken (2016) kommer den primära reningen i en damm från sedimentation där en damm som anläggs och drivs rätt har en reningseffekt på över 70 % av partikulära föroreningar, medan den är lägre för lösta metaller och kväve som till stor del renas genom biogeokemiska processer. För bästa möjliga resultat av sedimentering och avskiljning bör ett pluggflöde uppnås, vilket bäst tillfredsställs i en långsmal damm med in- och utlopp vid kortsidorna. Ett problem som ofta uppstår i dammar är en stor tillväxt av alger (Stahre, 2004). Det finns olika sätt att lösa detta på, bl.a. kan en fontän anläggas för att öka syrenehållet i vattnet och därigenom minska tillväxten av alger. Det rekommenderas också att dammen förses med en bottenventil som gör det möjligt att tappa ur allt vatten för att underlätta rengöring. Av säkerhetsskäl bör dammen byggas med flacka slänter och flack botten samtidigt som växter planteras runt den.

Fördröjning av dagvatten nära källan

Nästa kategori är den Stahre (2004) väljer att kalla fördröjning av dagvatten nära källan och innehåller lösningarna i de övre delarna av det allmänna dagvattensystemet. Det är alltså lösningar för vilka kommunen ansvarar och liknar mycket det lokala omhändertagandet på privat mark men skillnaden att de anläggs på kommunal mark och därför ofta kan göras större med högre kapacitet.

- Genomsläppliga beläggningar på allmän platsmark. Denna lösning har tidigare beskrivits under *lokalt omhändertagande på privat mark*, där den lämpar sig bättre (Stahre, 2004). Anledningen till detta är att slitaget på beläggningar utanför privat mark tenderar att bli högre vilket medför tätare och större behov av underhåll samtidigt som livslängden förkortas. Ett alternativ med genomsläpplig beläggning på allmänna platser är genomsläpplig asfalt. Istället för att anlägga vägar inom ett bostadsområde med konventionell asfalt utnyttjas en porösare typ som släpper igenom vatten samtidigt som bullernivåerna minskar. För att den ska fylla sin funktion krävs regelbunden tillsyn och rengöring med högtryckstvätt

och/eller vakuumsugning, vilket beroende på material och förhållanden varierar mellan ett och två år (Granath & Thorsell, 2016; Pennsylvania Department of Environmental Protection, 2006).



Figur 7 Genomsläpplig beläggning på yta för cykel- och bilparkering. I övre högra hörnet på bilden går det att se att gräset har växt ur hålrutorna och sprider sig över ytan vilket förhindrar ytans funktion att låta vattnet ta sig ner genom hålen. Skötsel i form av rensning behövs. Egen bild.

- Tillfällig uppdämning på gatumark. Den här tekniken går ut på att rännstensbrunnar med flit sätts igen (så kallad strypning) för att förlänga vattnets rinntid på mark och leda den till en annan brunn där systemet har högre kapacitet (Stahre, 2004). Detta leder till att gatan svämvas över och en dialog med de som bor i området är viktig så att de boende är införstådda med varför detta görs. Här sker ingen rening av vattnet eftersom det fortsätter att rinna på en hårdgjord yta, utan fördelen är endast att systemet inte överbelastas. Rening skulle vara möjlig om uppdämningen leder till någon annan dagvattenlösning som t.ex. en fördröjningsdamm innan vattnet leds in i nätet igen.
- Tillfällig uppdämning på särskilda översvämningssytor och fördröjningsdammar. Principen med fördröjningsdammar har tidigare diskuterats under *lokalt omhändertagande på privat mark* och är den vanligaste anläggningen för dagvattenfördröjning (Stahre, 2004). Fördelen med att anlägga dessa på allmän plats är att de generellt kan göras större, vilket förutom den uppenbara fördelen med att den kan fördröja och rena mer vatten också fyller en samhällsnyttig funktion för invånarna som, vid rätt design, får ett fint inslag i stadsmiljön. Ett annat sätt att samla upp och fördröja stora mängder vatten är att designa systemet så att det vid kraftiga flöden dämmer upp vattnet på ytor i direkt anslutning till systemet, en så kallad översvämningssyta.



Figur 8 Fördröjningsdamm där flack lutning och inhägnad går att se. Egen bild.

- **Våtmarker.** Till skillnad från en damm, vars primära rening sker genom sedimentation av partikulära föroreningar, kombinerar våtmarker sedimentation med biogeokemiska processer som förbättrar behandlingen av lösta föroreningar och näringsämnen (Blecken, 2016). En våtmark täcks till stor del av vegetation som står för de huvudsakliga reningsmekanismerna, vilket kombineras med en sedimentationsdamm vid inloppet (Stahre, 2004). Eftersom reningen sker med hjälp av växtlighet blir våtmarkens reningseffekt till viss del årstidsberoende (Blecken, 2016). Då många av de kemiska processer som sker i våtmarken fungerar bäst inom vissa temperaturintervall fungerar även dessa olika effektivt beroende av årstider. För att våtmarken ska fungera krävs det att kontroller görs så att vegetationen hålls på önskade nivåer och tillsyn av in- och utlopp för att säkerställa rätt flöde och vattennivå.
- **Flytande våtmarker.** Denna lösning går ut på att förbättra dagvattendammar genom att placera ut flytande öar bestående av porös plast varpå växter planteras med nedstickande rötter i vattnet (Blecken, 2016). Det har visats att dessa flytande våtmarker kraftigt kan öka metall- och sedimentationsavskiljningen vilket främst förklaras med upptag direkt till växterna, ökad mikrobiologisk aktivitet och sorption.

Trög avledning av dagvatten

Vid en hållbar och öppen dagvattenhantering ersätts de traditionella rörsystemen ofta av öppna vattenvägar (Stahre, 2004). Avledningen ska i en öppen miljö långsamt leda

vattnet genom området till ledningsnätet, en nedre samlad fördröjning eller ut till recipienten. Eftersom vattnet leds långsamt fördröjs det längs vägen, vilket ger en minskning av flödestopparna i ledningsnätet eller recipienten. Vid all typ av öppen avledning är det viktigt att beakta eventuell erosion som kan ske där stora flöden uppstår. Där måste vattenhastigheten hållas nere, eller så kan systemet behöva förstärkas med erosionsskydd. Avledningssystemen behöver också undergå underhåll för att förhindra uppdämning från skräp och växtlighet.

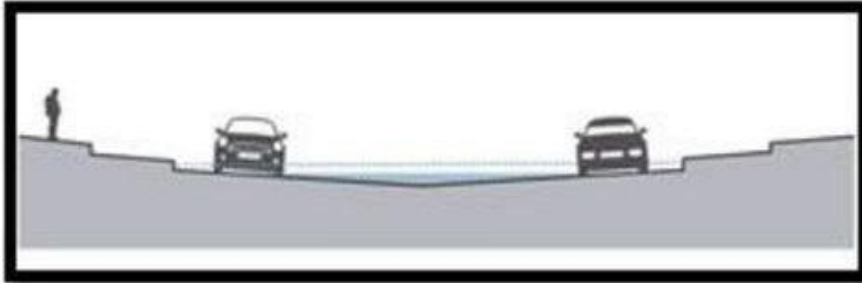
- Svackdiken på allmän platsmark. Fungerar som tidigare beskrivits under *lokalt omhändertagande på privat mark* med den extra fördelen att de kan göras större och då även ha god magasineringskapacitet (Stahre, 2004).



Figur 9 Svackdike där vattnet står kvar trots flera dagar utan regn. Underhåll i form av rensning av diket behövs. Egen bild.

- Diken och bäckar. Befintliga vattendrag i anslutning till bebyggelsen kan med fördel utnyttjas för avvattningsområde. Viktigt att ta hänsyn till i sådana fall är om de ingår i ett dikningsföretag och huruvida vattendraget har tillräcklig kapacitet för att leda bort flödet från området (Stahre, 2004). Då utsläpp av näringsämnen och andra föroreningar får en negativ effekt på ekosystemet i och runt bäcken behöver det säkerställas att det utgående vattnet från området inte har för höga föroreningshalter (WWF, 2007). Därför ska inte bäckar ses som ett reningssteg för urbana föroreningar utan ett naturligt sätt att avleda vattnet från dessa områden.
- Dagvattenkanaler. I stadsmiljö kan öppna dagvattenkanaler vara ett alternativ till diken. Denna avledning är dock hårdgjord, vilket tar bort den infiltrerande fördelen med trög avledning (Stahre, 2004). Dessa tenderar också att bli dyra och används främst där kringliggande byggnation förhindrar anläggande av diken.
- Skyfallsväg. En ny lösning som det inte gjorts så mycket studier på än, är så kallade skyfallsvägar. De består av vägar som byggs med en v-form som leder vatten mot vägens mitt, vägen lutar i sin tur mot en lågpunkt varifrån vattnet sedan leds bort (SMHI, 2016). Vid vanliga regn kommer en liten rännil att rinna i

mitten av vägen medan den vid kraftiga skyfall kan svämma över helt vilket riskerar att stoppa upp trafiken. Att bygga en sådan väg kräver stora, dyra ingrepp och lämpar sig bäst vid ny- eller ombyggnation av ett område. Precis som vid *tillfällig uppdamning på gatumark* sker ingen rening så länge vattnet inte leds från skyfallsvägen till t.ex. en damm.



Figur 10 Tvärsektion av en skyfallsväg byggd i Karlstad, vattnet rinner mot mitten och sedan i vägens riktning bort till en lågpunkt där det leds av vägen ut i Klarälven (SMHI, 2016).

2.2.3 Översvämningsrisk

Beroende på hur olika byggnader är byggda t.ex. med källare och bottenplanets höjd över marken är de olika känsliga för skador som följd av översvämning. Så länge ingen samhällsviktig verksamhet bedrivs i byggnaden leder detta enbart till materiella skador. Vid samhällsviktig verksamhet kan det indirekt leda till fara för människoliv om t.ex. ett sjukhus skulle förlora sin funktion vid översvämning (MSB, 2017). För att bedöma den direkta faran för människoliv spelar översvämningsdjupet i kombination med vattnets hastighet in, denna fara kan sammanfattas i nedanstående matris (Figur 11 **Fel! Hittar inte referensälla.**).

| (V+C) *D | Vattendjup | | | | | | | | | |
|-----------------|------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Vattenhastighet | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 |
| 0.00 | 0.13 | 0.25 | 0.38 | 0.50 | 0.63 | 0.75 | 0.88 | 1.00 | 1.13 | 1.25 |
| 0.50 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 |
| 1.00 | 0.38 | 0.75 | 1.13 | 1.50 | 1.88 | 2.25 | 2.63 | 3.00 | 3.38 | 3.75 |
| 1.50 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 | 3.00 | 3.50 | 4.00 | 4.50 | 5.00 |
| 2.00 | 0.63 | 1.25 | 1.88 | 2.50 | 3.13 | 3.75 | 4.38 | 5.00 | 5.63 | 6.25 |
| 2.50 | 0.75 | 1.50 | 2.25 | 3.00 | 3.75 | 4.50 | 5.25 | 6.00 | 6.75 | 7.50 |
| 3.00 | 0.88 | 1.75 | 2.63 | 3.50 | 4.38 | 5.25 | 6.13 | 7.00 | 7.88 | 8.75 |
| 3.50 | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5.00 | 6.00 | 7.00 | 8.00 | 9.00 | 10.00 |
| 4.00 | 1.13 | 2.25 | 3.38 | 4.50 | 5.63 | 6.75 | 7.88 | 9.00 | 10.13 | 11.25 |
| 4.50 | 1.25 | 2.50 | 3.75 | 5.00 | 6.25 | 7.50 | 8.75 | 10.00 | 11.25 | 12.50 |
| 5.00 | 1.38 | 2.75 | 4.13 | 5.50 | 6.88 | 8.25 | 9.63 | 11.00 | 12.38 | 13.75 |

Figur 11 Riskmatris för att bedöma den direkta faran för människoliv. Vattnets hastighet betecknas V, vattendjupet D och C är en koefficient som brukar sättas till 0,5. Ett värde under 0,75 bedöms som ingen fara, 0,75-1,25 är fara för vissa, 1,25-2,5 fara för de flesta och värden högre än 2,5 är fara för alla (MSB, 2017).

Någon nationell standard för vilka djup (utan hänsyn till hastighet) som riskerar att skada byggnader och infrastruktur finns inte. Göteborg Stad rekommenderar dock att nybyggnation ska klara ett översvämningdjup på 0,2 meter och samhällsviktig verksamhet 0,5 meter (Göteborgs Stad, 2016).

2.3 Modelleringsteori

Aktörer använder modellering av olika dagvattensscenarier som ett verktyg för att kartlägga risker och möjligheter i så väl nya som befintliga områden. Till exempel har kommuner och exploatörer stor nytta av att göra modeller av omhändertagande av dagvatten, i en växande stad som måste säkras mot klimatförändringar (DHI Sverige AB, 2015). Beroende på vilket typ av scenario som modellen skall användas för byggs den upp på olika sätt. Några vanliga scenarier som dagvattenmodellering används till idag är utredningar av riskområden för översvämningar och behov av åtgärder, vid exploatering för att se var topografi och markförhållande skapar riskområden och utreda bräddning av spillvatten vid höga dagvattenflöden i kombinerade system (Blomquist, Hammarlund, Härle, & Karlsson, 2016). Generellt sett ger en detaljerad modell mer verklighetstroga resultat, men beroende på vilket scenario man skall konstruera modellen för, kan modellen förenklas för att spara tid och pengar för beställaren (MSB, 2017).

Modellens detaljnivå beror även på de data man kan ta fram för området. Ett bättre underlag till modellen ger mer tillförlitliga resultat och en möjlighet att sätta upp en mer komplex modell. Om ett område ska modelleras med en komplex modell, krävs en större mängd indata (höjddata, markanvändning, ledningsnät, etc.) än vid en mindre komplex modell, då det kan räcka med enbart en höjddata (MSB, 2014). Då val av modell ska göras är det därför viktigt att veta att vilken mängd data som finns och huruvida den är tillförlitlig. Att göra en komplex modell på bristande underlag kan ge ett mycket mer missvisande resultat jämfört med att modellera samma område med en mindre komplex modell där indata är tillförlitlig. I nuläget finns det inga regler kring hur en modell skall byggas upp, utan bara rekommendationer, som återfinns i ”Riktlinjer för modellering av spillvattenförande system och dagvattensystem” (Blomquist et al., 2016).

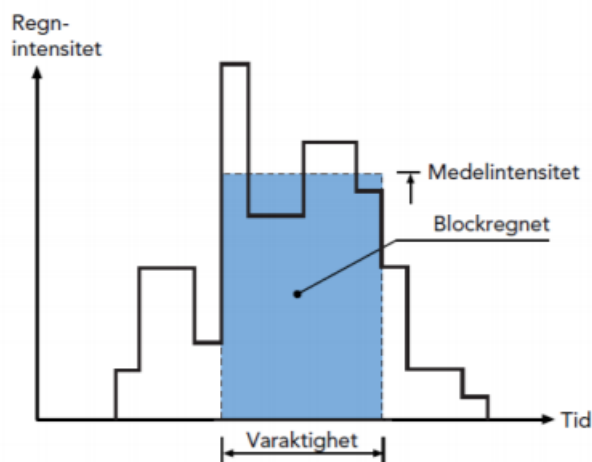
Det finns en handfull olika program på marknaden som används för att göra hydrauliska modeller, t.ex. för att dimensionera ledningar eller ta fram en ytflödesmodell med hjälp av höjddata. När det kommer till kopplade modeller där både mark och ledningar kopplar samman finns det framförallt två stora företag som erbjuder denna möjlighet i sina program, DHI med Mike Flood och Chiwater med PCSWMM.

2.3.1 Begrepp inom dagvattenmodellering

Modelleringsregn

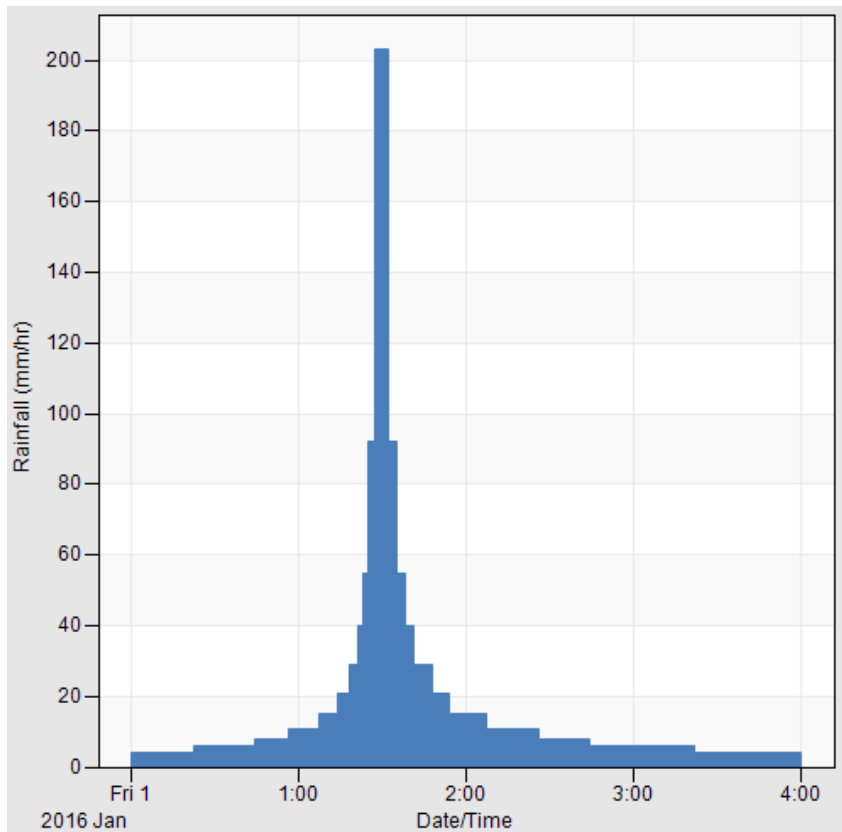
I modelleringssammanhang används generellt tre olika typer av regn, blockregn, CDS-regn och uppmätta regn (Blomquist et al., 2016). De två första regnen är så kallade syntetiskt framställda typregn, som konstrueras genom intensitet-varaktighetssamband från regnstatistik över det specifika området. Vid modellering kan uppmätta regn av en regnmätare användas som indata. Ofta klassificeras regnet beroende på dess varaktighet och intensitet för att bestämma återkomsttiden på regnet.

- **Blockregn.** Visar ett uppmätt regn i ett förenklat format (Svenskt Vatten, 2011). Då ett uppmätt regn varierar i intensitet med tiden, är det i modeller enklare att beskriva regnets medelintensitet under en bestämd varaktighet (Figur 12). I modeller byggs en serie av flera sammanhängande blockregn upp, varje blocks varaktighet skall matchas för alla eventuella rinntider som kan förekomma till ledningsnätet.



Figur 12 Regnets maximala medelintensitet för given varaktighet. Den blå arean markerar blockregnet, som är en förenkling av grafen som visar det uppmätta regnet (Svenskt Vatten, 2011).

- **CDS-regn (Chicago Design Storm).** Byggs upp av flera blockregn med olika intensitet (Svenskt Vatten, 2011). När ett CDS-regn konstrueras brukar regnets mest intensiva period läggas vid en tidpunkt då ungefär en tredjedel av regnets totala varaktighet passerat, detta för att efterlikna det verkliga regnets intensitetmaximum (Figur 13). Runt om det centrala blocket byggs det sedan upp fler blockregn för att matcha alla eventuella rinntider och skapa ett volymriktigt regn (Blomquist et al., 2016). Denna typ av regn är lämplig att använda vid skyfallskartering (MSB, 2017).



Figur 13 Ett CDS-regn är uppbyggt av flera blockregn med olika intensitet, intensitetsmax läggs ofta efter en tredjedel av varaktigheten. Det här exemplet visar 30-årsregnet som används i den här studien. Egen bild.

- **Uppmätta regn.** Består av historiskt uppmätta regn från regnmätare, där regnmätaren registrerar varaktigheten, volymen och intensiteten på regnet, för att skapa ett intensitet-varaktighetsdiagram över regnet (Svenskt Vatten, 2011). Vid kalibrering av en modell måste detta regn användas för att verifiera indata, t.ex. råhet, infiltration och lutningar på ledningar, i det befintliga området (Blomquist et al., 2016). Genom att ge modellen korrekt indata, kan utflöden kontrolleras i verkligheten för samma regn och på så sätt kan modellen valideras.

Topografi

Är det som beskriver ett områdes terräng och identifierar lågpunkter. Topografin är det första som studeras för att få en bild över hur utsatt ett område är för översvämningar (Blomquist et al., 2016). Höjddata från exempelvis Lantmäteriet används för att skapa en yta för att beskriva topografin i modelleringsprogrammet.

Hårdgjorda ytor

I det studerade området finns vanligtvis olika ytor med olika egenskaper, t ex gräsmattor, hus, parkeringsplatser och vägar. De egenskaper som är intressanta vid modellering är ytans *råhet*, vilket beskrivs av Mannings tal, och påverkar hur snabbt vattnet rinner på ytan, och *infiltrationskapacitet*, vilket beskriver hur mycket som kan infiltreras ned i marken (MSB, 2017). Då dessa egenskaper påverkar avrinningen i området blir de viktiga att ta hänsyn till i en modell. Vid låg infiltration kommer mer

ytvatten förekomma och lågpunkter och ledningar kommer att påverkas av en förändring i nederbörd.

Tillskottsvatten

Är vatten som kan läcka in i otätheter i dagvattenledningarna och ger därmed ett högre vattenflöde (Blomquist et al., 2016). Inläckage sker ofta i områden med högt grundvatten och gamla, otäta ledningar. Denna parameter går ofta att inkludera i modelleringen och kan påverka resultatet. Dock måste en kontrollmätning utföras innan, för att bestämma mängden tillskottsvatten.

Ledningsnätet

Ett ledningsnät byggs upp av inlopp, ledningar, kopplingspunkter och utlopp där dimensionen på ledningsnätet beror på hur mycket vatten det skall klara av att leda bort (Blomquist et al., 2016). I Sverige förekommer två olika lösningar på dagvattenledningar: kombinerat system där spill- och dagvatten går i samma ledning, och system med separata ledningar för spill- respektive dagvatten, som beskrivits i kapitel 2.2.2. Vid modellering är det viktigt att veta om dagvattenledningen är *kombinerad* eller *separerad*, då det i en kombinerad ledning krävs att hänsyn tas till mängden spillvatten i ledningen och dess variationer över dygnet.

2.3.2 Uppbyggnad av modell

En översvämningsmodell kan delas in i tre nivåer beroende på hur noggrant resultat som önskas och vilka data som finns tillgängliga (Blomquist et al., 2016).

Nivå I

På nivå I görs ingen modellering, utan en topografisk karta granskas och riskområden för översvämnning med hänsyn till topografin pekas ut (Blomquist et al., 2016). Detta kan vara användbart vid exploatering av områden i tidigt skede för att bestämma om området är lämpligt för nybyggnation.

Nivå II

På nivå II skapas en modell som tar hänsyn till topografiska förhållanden, bebyggelse och hårdgjorda ytor (infiltration och råhet) (Blomquist et al., 2016). På denna nivå tas ingen hänsyn till ledningskapaciteten, vilket kan medföra att översvämningsområden överskattas. Resultatet är en detaljerad modell över hur markytan översvämmas, vilket också är användbart vid exploatering eller vid modellering av kraftigare regn där ledningarna antas vara fulla.

Modelleringen på nivå II kan utföras i antingen 1D eller 2D, vilket är olika sätt att beskriva höjdmodellen som skapas utifrån topografin (Blomquist et al., 2016). 1D passar bra när man beskriver vattendrag så som floder och ledningar där vattnet rinner i en riktning. För ett större område där ytan lutar åt många olika håll beskrivs höjdmodellen bättre med en 2D-modell. Den skapas genom ett rutnät som bygger på markytans elevation och ger modellen data för att beskriva avrinningen på markytan. Rekommendationen för att skapa detta rutnät är att använda en laser-scannad höjdmodell med precision på 2 x 2 m. Vid modellering av stora områden kan en precision på 4 x 4 m användas för att spara datakraft (MSB, 2017). För att rutnätet skall beskriva terrängen och ytavrinningen korrekt läggs bebyggelsen in som hinder

för vattnet. Detta för att modellen skall uppfatta att vatten inte kan rinna genom husen och på så sätt fås avrinningsstråk mellan byggnader.

Nivå III

På nivå III kopplas ledningsnätet samman med 2D-modellen, detta kallas en kopplad modell (Blomquist et al., 2016). I en kopplad modell samverkar marken och ledningarna vilket skapar en exaktare modell av hur området beter sig under ett regn. I befintliga områden där ledningsnätet redan är dimensionerat, är denna metod bra för att analysera hur kraftigare nederbörd och/eller mer hårdgjorda ytor kommer påverka dagvattennätet i området.

Det finns två sätt att simulera denna typ av modell, antingen tillåts ett regn fylla ledningsnätet och sedan översvämma ytan, eller så simuleras ytan med ett regn som sedan rinner ner i ledningarna (Blomquist et al., 2016). I en modell med stora avrinningsområden där endast en del av området är intressant för modellen kan den förstnämnda simuleringen användas för att spara datakraft. Parametrar som råhet och infiltration måste undersökas och bestämmas både i ledningarna och på markytan där vattnet rinner. Dessa parametrar kan ge ett stort utslag på modellens resultat och det är därmed viktigt att precisera hur det här har valts. Parametrar kan påverkas av nederbörd på en redan vattenmättad yta detta sker t.ex. vid skyfall.

Semi- och fulldistribuerade modeller

För att göra en kopplad modell kan två arbetssätt användas, semi- och fulldistribuerade modeller (i rapporten kallas dessa SD och FD). Dessa skiljer sig genom hur markavrinningen beräknas innan vattnet når ledningsnätet (Pina, Ochoa-rodriguez, Simões, & Mijic, 2016). SD-modeller är uppbyggda av olika delområden (*subcatchments*) som ges specifika areor och områdesegenskaper beroende på markanvändning och infiltration inom området. Inom detta område sätts sedan en medellutning och det tilldelas en nod som är kopplad till ledningsnätet (representerar ofta en rännstensbrunn) dit vattnet som beräknas komma från området rinner. En FD-modell består istället av ett tvådimensionellt rutnät där varje cell i nätet får specifika egenskaper, vilket leder till en mer detaljerad modell. I en sådan modell rinner vattnet från en cell till en annan tills det kommer till en cell som har en koppling till en nod i ledningsnätet.

Beräkningarna som görs i modellen kommer att skilja sig från varandra p.g.a. de olika uppbyggnaderna, beroende på om modellen är SD eller FD. De initiala förlusterna som kan väntas i början av beräkningsgången är främst förluster i svackor och upptagning av porvatten i markmaterialet (Pina et al., 2016). I en SD-modell kommer dessa förluster att i början av simuleringen subtraheras från den totala mängden vatten, baserat på antaget vattendjup som upptas i materialet, ofta 1-8 mm (CHI, 2018a). Eftersom en SD-modell inte har lokala höjdskillnader, kommer svackornas upptagning att behöva skattas in i antagandet av vattenupptagningsdjupet. I en FD-modell kommer lokala svackor att tas med i beräkningarna då de finns representerade i 2D-nätet och uppskattningar av vattenupptagningsdjupet behöver alltså inte göras (Pina et al., 2016). På samma sätt subtraheras en vattenmängd från en SD-modell som ska representera infiltrationen genom markmaterialet. Detta kan leda till följdfel om regn läggs på ett område som består av både genom- och ogenomträngliga material. I verkligheten kommer vatten som faller på t.ex. en väg ofta att rinna ut på marken där det tillåts infiltrera innan det når ledningsnätet. Pina et al. (2016) menar att i en SD-

modell tas sådant inte hänsyn till, utan den procent som i modellen är beskriven som ogenomtränglig leder vattnet direkt till områdets nod. Sådana följdfel kan i PCSWMM förhindras genom att ange att vattnet går från ogenomträngligt till genomträngligt material inom området (CHI, 2018d). I en FD-modell rör sig vattnet mellan celler vilket minimerar risken för sådana följdfel (Pina et al., 2016).

3 Metod

För att bedöma hur ett extremregn skulle påverka Skepplanda modellerades området med en kopplad modell (nivå III), där ytavrinning samspelar med ledningsnätet för att ge så verklighetstroga resultat som möjligt. I detta arbete valdes programmet PCSWMM, som uppfyller kraven på att kunna modellera en kopplad 1D/2D-modell, där ledningsnätet modelleras med ett 1D-flöde och markavrinning som 2D. Med hjälp av modellen gick det att identifiera vilka områden som svämmas över och hur mycket vatten som finns i olika områden vid olika tidpunkter. Utifrån denna information valdes lösningar i form av fördröjningsdammar och svackdiken som inkluderades i modellen, som sedan kördes igen för att visa på hur området skulle påverkas av de föreslagna förbättringsåtgärderna. Det är viktigt att åtgärderna har tillräcklig kapacitet för att reducera flödestoppar i nätet för att undvika översvämningar, samtidigt som deras renande egenskaper hindrar föroreningar från att spridas till recipienten.

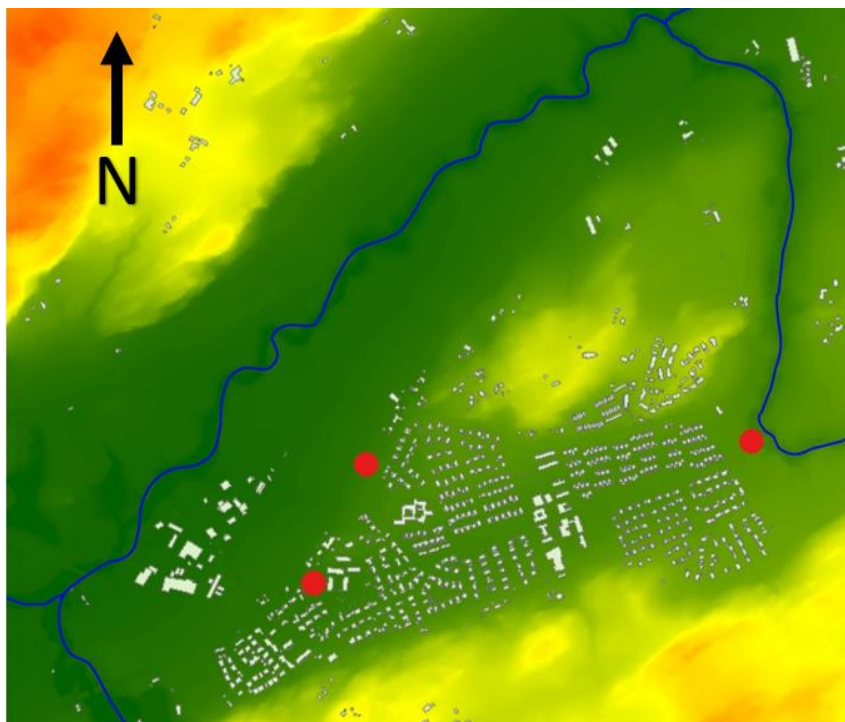
3.1 Områdesbeskrivning

Skepplanda är en tätort som ligger 3,5 mil nordost om Göteborg i Ale kommun. Skepplanda utgörs av ca 150 ha som ligger på lera vid Göta älv, här bor ca 1800 personer och byggnationen runt Albotorget i Skepplanda består mest av villor och radhus (Statistiska Centralbyrån, 2015).

Till modelleringen är det viktigt att det finns en utförlig beskrivning över området med uppdaterade kartor och ledningsnät. Aktuella kartor över höjddata, ledningsnät, vägar och bebyggelse i området beställdes från Ale kommun. Genom att studera omgivningarna och dra slutsatser utifrån det geografiska läget, kunde det konstateras att centrala Skepplanda ligger på en lågpermeabel lera i en dalgång till Göta älv. Detta bekräftades genom att studera jordarts- och genomsläpplighetskartor från SGU (Figur 2 & Figur 3).

Skepplanda ligger på gammal platt åkermark på lera som omsluts av Ryksbäcken i öst och Grönå i västlig och nordlig riktning. Sydöst om samhället ligger ett berg som en avgränsning. Dessa tydliga avgränsningar utgör avrinningsområdet och vattnets väg i naturen som letar sig från berget och mot Ryksbäcken och Grönå. Det är detta område och avrinningsvägar som modellens markmodell bygger på (Figur 14).

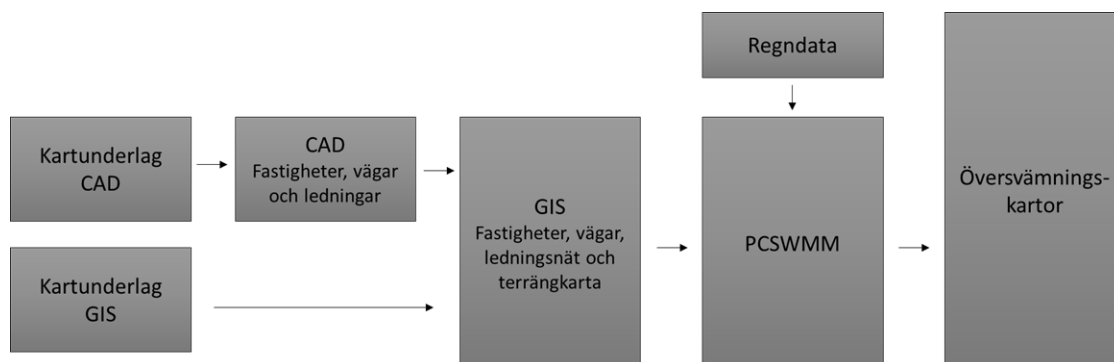
Skepplandas dagvattensystem är ett separat system och avgränsningarna sattes till tre utlopp som leder till vattendragen, ett östlig till Ryksbäcken, ett nordvästlig och ett i sydvästligt som båda leder till Grönå. Inga tätorter finns uppströms, som kan påverka dagvattennätet.



Figur 14 Modellens avgränsningsområde där de blå linjerna är vattendragen och röda prickar representerar utloppen. Markytans färg styrs av dess höjd där skalan går från grön (1,5 meter över havet) till röd (100 meter över havet), då kan vi notera berget som avgränsar området åt söder.

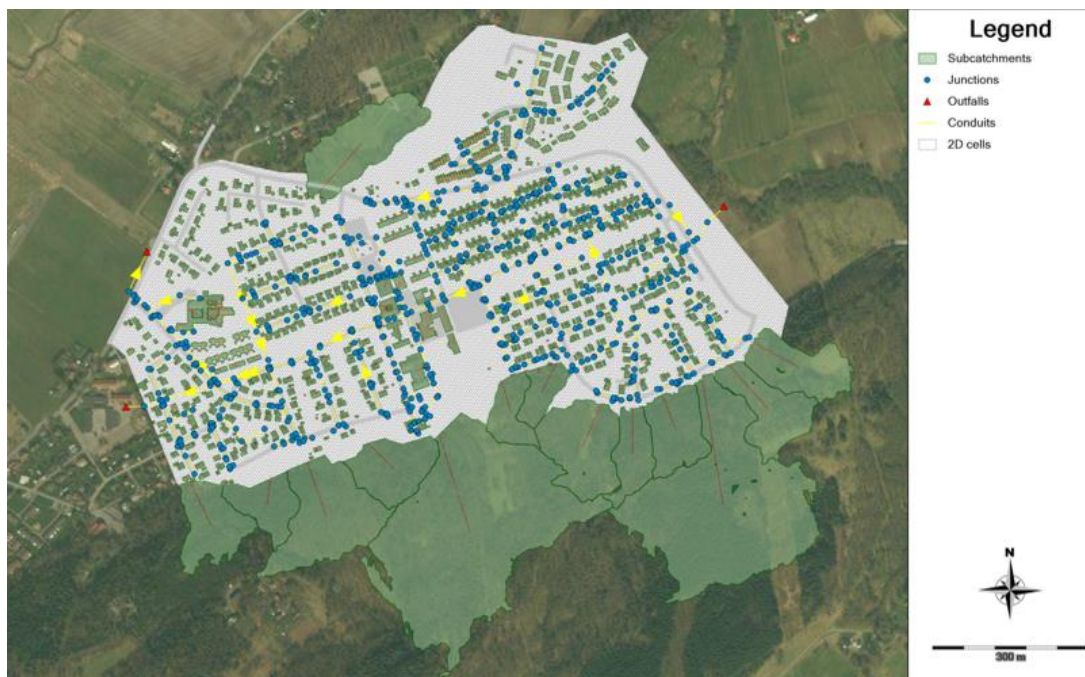
3.2 Modelluppbyggnad

I den här rapporten beskrivs hur ett bebyggt område i Skepplanda kommer att påverkas av allt intensivare regn som följd av klimatförändringarna och vilka åtgärder som krävs för att hindra eventuell översvämning. Vid uppbyggnad av en modell där en eventuell översvämning skall undersökas är det viktigt att skapa en modell som speglar förhållandena i området, för att nå bästa resultat. Åtgärdernas fokus låg på att göra samhällsviktiga verksamheter t.ex. skolor, mataffärer och sjukhus tillgängliga vid ett skyfall. För att utvärdera översvämningensrisken användes en detaljerad modell som beskrivs i 2.3.2, d.v.s. nivå III, och arbetsgången för dess uppbyggnad sammanfattas i Figur 15.



Figur 15 Flödesschema för modelluppbyggnad. Kartunderlag läggs in i GIS, delvis via CAD. GIS materialet och regndata importeras till PCSWMM. Från PCSWMM erhålls efter simulering en översvämningsskarta.

Då modellen har för avsikt att visa på marköversvämning krävdes det att de områden som är intressanta för översvämningssimuleringen är representerade som ett 2D-nät, d.v.s. en FD-modell. Då det exakta händelseförloppet utanför de bebyggda delarna inte var intressanta för den här studien, modellerades dessa som en SD-modell där kopplingsnoderna är noder på FD-modellen (Figur 16). För att undersöka om denna förenkling skulle påverka resultatet gjordes en testmodell på ett mindre område. Simuleringen för en full FD-modell tog längre tid att beräkna, men gav samma resultat som en förenklad där avrinningsområdena modellerades som SD. Därför valdes att förenkla modellen.



Figur 16 Uppbyggnad av modell där de centrala delarna är modellerade som en FD-modell där byggnader klippts ut och lagts in som subcatchments, som kopplar till 2D-nätet. Eftersom att vatten inte kan rinna igenom husen måste de läggas in som subcatchments för att få med det regn som faller på taken. Större avrinningsområden utanför de centrala delarna har tagits fram med hjälp av GIS och lagts in som större subcatchments (gröna områden), där kopplingsnoder till 2D-nätet har valts efter de naturliga rinnvägar som bildas.

3.2.1 Kartunderlag

Första steget i modelleringen är att identifiera de data som behövs för att bygga upp modellen. All data för modellen levererades av Ale kommun, förutom regndata som tillhandahölls av Norconsult.

- Terrängmodell från laserscanning (raster-format i NNH2+)
- Grundkarta (GIS)
- Fastighetskarta med hårdgjorda ytor (tak och vägar) i slutna polygoner (DWG eller GIS)
- Digitalt underlag ledningar med vattengångar, innerdimensioner och material (DWG eller GIS)

- Digitalt underlag brunnar med brunnsnamn, brunnstyp och locknivåer. (DWG eller GIS)
- Regndata över Skepplanda, 30- och 100-årsregn (DAT-fil i PCSWMM)

3.2.2 CAD

DWG-filer med fastighetskarta, ledningar och brunnar från kommunen bearbetades i CAD innan implementering i GIS. De hårdgjorda ytorna modifierades i CAD för att skapa polygoner av husen. Ledningsnäten modifierades genom att plocka bort ledningar och brunnar som inte var kopplade till det kommunala ledningsnätet. Det fanns också ett mindre område i utkanten av samhället där information om ledningarnas diameter och exakta placering saknades. Då det inte låg inom de områden som förväntades löpa stor risk för översvämning valdes denna del att tas bort istället för att gissa hur nätet i det området var uppbyggt.

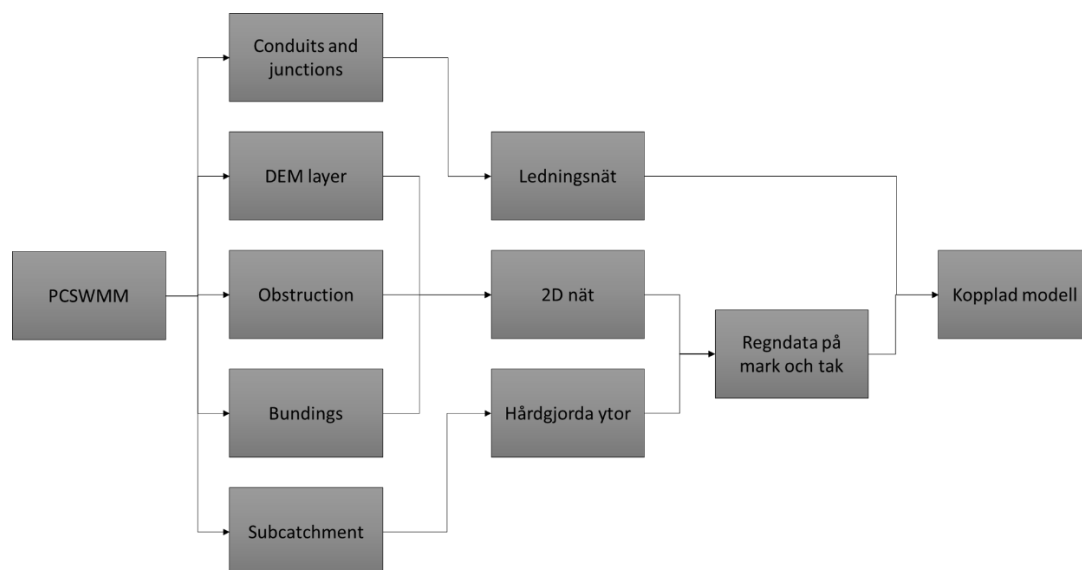
3.2.3 GIS

I GIS omarbetades geografiska data så de på ett lätt sätt kunde laddas in i PCSWMM, med samma koordinater och i ett kompatibelt filformat.

Terrängmodellen öppnades i GIS och avrinningsområdet identifierades enligt kapitel 3.1 och Figur 14. *Fastighetskartan* från CAD beskars utefter vilket område som skulle granskas. Alla hårdgjorda ytor måste beaktas för att få en modell med verkliga avrinningskoefficienter.

När underlaget för fastigheter, vägar och ledningsnät var inlagt i GIS och beskuret med hänsyn till avgränsningarna, sparades det i ett filformat vilket är kompatibelt med PCSWMM (SHP-fil). Genom att använda en SHP-fil kunde ledningar (*polylines*), brunnar (*points*) och hårdgjorda ytor (*polygons*) grupperas beroende på typ för att enkelt laddas in under rätt kategorier i PCSWMM.

3.2.4 PCSWMM



Figur 17 Uppbyggnad av modell i PCSWMM

Ledningsnät

Det första steget i PCSWMM är att importera *junctions and conduits* dvs *points* (brunnar) och *polylines* (ledningarna). Dessa punkter och linjer sammanfogades sedan med ett verktyg i programmet för att skapa ett komplett ledningsnät.

Beroende på hur ledningsnätets information om innerdimensioner, vattengångar, locknivåer samt brunnstyp var kopplad till DWG-filen från kommunen behövde ledningsnätet granskas i PCSWMM. Om informationen varit kopplad till varje *polyline* och *point* hade ledningsnätet inte behövts omarbetas. I detta fall låg denna information skriven bredvid ledningarna och brunnarna, vilket gjorde att dess attributdata fick matas in manuellt i PCSWMM.

I Skepplanda består ledningsnätet av gamla betongrör, råheten bestäms med Mannings skrovlighetskoefficient (Mannings n) som sätts till $0,02 \frac{s}{\sqrt[3]{m}}$ enligt rekommendationer från PCSWMM (CHI, 2018b).

2D-nät

Efter detta skapades en yta som representerar terrängen. Den skapades genom ett verktyg i programmet som använder informationen i *DEM layer* (terrängmodellen), som i det här fallet hade upplösning 2x2 meter, för att skapa ett rutnät över marken som avgränsas genom *bounding-lagret*. När rutnätet skapas finns det vissa hinder, t.ex. byggnader, där markvattnet inte kan flöda igenom. Detta togs hänsyn till genom att skapa en *obstruction* med husen på fastighetskartan.

Hårdgjorda ytor

De hårdgjorda ytorna skapades genom att ändra attributdata (råhet och infiltration) för ett visst område, som definieras av ett *subcatchments-lager*. Ytorna kategoriserades genom att tagga dem med "Hus" och "Avrinningsområden", vilket gjorde att råhet och genomsläpplighet lätt kunde bestämmas för de olika ytorna. För gräsytor valdes skrovlighetskoefficienten till $0,15 \frac{s}{\sqrt[3]{m}}$, skogsområden $0,40 \frac{s}{\sqrt[3]{m}}$ och hustak sattes till $0,011 \frac{s}{\sqrt[3]{m}}$ (CHI, 2018c). Infiltrationen för alla ytor sattes till $0 \frac{mm}{h}$ då häftiga skyfall förhindrar infiltration.

Kopplad modell

För att koppla 2D-nätet, ledningsnätet och det hårdgjorda ytorna till en modell, användes ett verktyg i programmet där både ledningsnätet och det hårdgjorda ytorna automatisk kopplas samman med 2D-nätet. När alla lager är ihopkopplade och anslutna till ledningsnätet applicerades ett 100 och ett 30-årsregn över 2D-nätet och *subcatchments*. Regnets intensitet valdes genom intensitet-varaktighetskurvor baserade på Dalströms formel (Svenskt Vatten, 2011). Regndata finns sällan lokalt uppmätta för 100 och 30-årsregn. Eftersom mätningen bör vara tre gånger längre än regnet, är detta svårt att uppnå då det skulle behövas en regnserie på 90 respektive 300 år (Blomquist et al., 2016). För att skapa ett CDS-regn till modellen användes generella regndata för Sverige som finns publicerade i Dalströms intensitet-varaktighetskurvor för årsregn med 240 minuters varaktighet. Modelleringen slutfördes och ett resultat över de översvämmade ytorna på det konstruerade rutnätet presenterades i olika färger beroende på vattendjupet över mark.

3.2.5 Åtgärder i modellen

När översvämningssyftorna kunde presenteras för det två simulerade regnen, analyserades resultaten för att skapa de bäst anpassade lösningarna för att säkra Skepplanda mot framtida översvämningar. Resultaten analyserades och åtgärder skapades i modellen med åtanke om plats och genomförbarhet (Figur 18).



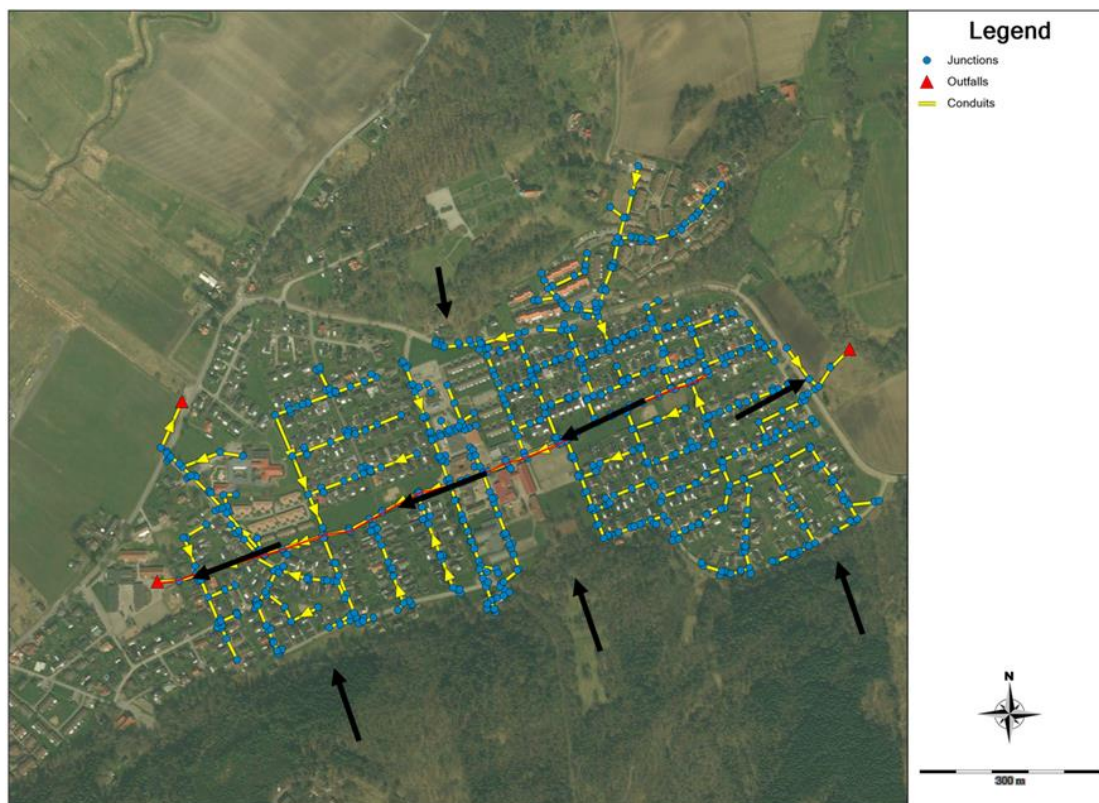
Figur 18 Åtgärder för dagvatten i Skepplanda. Blå områden representerar dammar och gula svackdiken med vallar. Baserat på översvämningssvolymer sattes volymen i dammarna till 1000, 800 respektive 4000 m³, från vänster sett på bilden. Svackdikena byggs 1 meter djupa med 0,5 meter höga vallar.

För att minska flödestopparna i ledningarna, konstruerades tre dammar i modellen runt Albotorget, där mycket av vattnet från de översvämmade brunnarna samlas. Två av dessa anlades på grönytor väster om torget och en tredje på en fotbollsplan öster om torget. Dammarna skapades genom att ändra höjddata för deras tänkta placering (Figur 18), d.v.s. elevationen på de inmätta punkterna i höjddata ändrades, vilket enkelt kan göras i PCSWMM. Baserat på översvämningssvolymer sattes djupen i dammarna till 60, 80 respektive 100 centimeter från vänster i Figur 18, detta för att reducera det mesta av översvämningarna från ledningarna vid ett 30-årsregn. När dessa sedan byggs är det viktigt att slänterna ner mot dammarna är flacka för att minimera risken för drunkningsolyckor. Efter att de konstgjorda dammarna skapats i modellen kopplades en ledning från dagvattennätet till dammen. Ledningen konstruerades så att den blev vattenförande endast när noden var nära att svämmas över.

Två stycken en meter djupa svackdiken med tillhörande 0,5 meter höga vallar med barriäreffekt skapades därefter för att leda om de stora rinnvägarna från berget. Diket till höger i Figur 18 leder bort vattnet från berget ut från området, medan diket till vänster leder vattnet ner mot fotbollsplanen där dammen har konstruerats. Barriärerna skapas i PCSWMM och gör att inget vatten kan flöda igenom. Precis som för husen skapas detta i ett *obstruction* layer, se *2D-nät* tidigare i detta kapitel. När åtgärderna i modellen var färdigkonstruerade simulerades regnen i modellen igen.

4 Resultat

Resultaten presenteras med hjälp av figurer från PCSWMM. I Figur 19 visas Skepplanda som ett flygfoto, med ledningsnätet pålagt för att illustrera hur ledningarna knyts samman och vart huvudledningen går.



Figur 19 Skepplandas dagvattennät med tre utlopp indikerade som röda trekant och huvudledningen markerad i rött. De svarta pilarna visar vattnets väg genom samhället.

Följande figurer visar det maximala vattendjupet vid en översvämning orsakat av ett 30- och ett 100-årsregn med en varaktighet på 240 minuter i Skepplanda. Tidpunkten för dessa figurer är då medeldjupet i modellen var som högst men under hela simuleringen är det samma områden som är utsatta. Det maximala djupet i modellen redovisas i fem intervall med olika djup och färger. Dock redovisas inte djup som är under 15 cm, detta för att skapa en modell som är mer lättolkad för ögat. Skepplanda har inga egna krav på vilka översvämningsdjup som samhället ska klara av, men Göteborgs Stads rekommendationer är 0,2 meter (Göteborgs Stad, 2016). Områdena som är mest utsatta för översvämning, så kallade riskområden, har ringats in i rött.

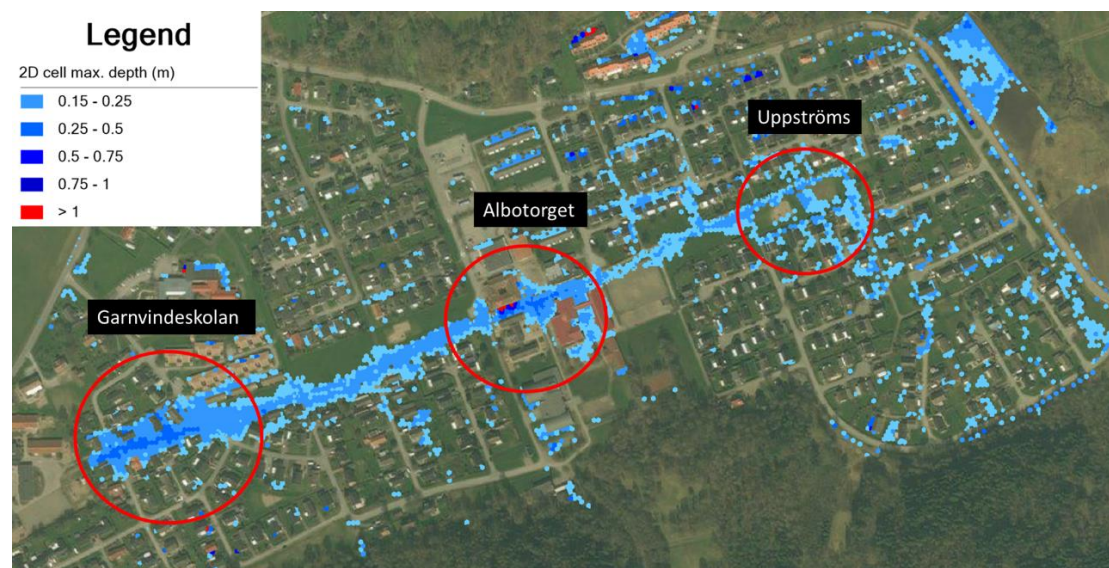
4.1 Översvämning utan åtgärder

Innan åtgärder kunde föreslås, modellerades området för ett 30- och 100-årsregn för att se hur dessa händelser skulle påverka samhället så som det ser ut idag. Utifrån resultaten som erhöles kunde sedan åtgärder väljas.

4.1.1 30-årsregn

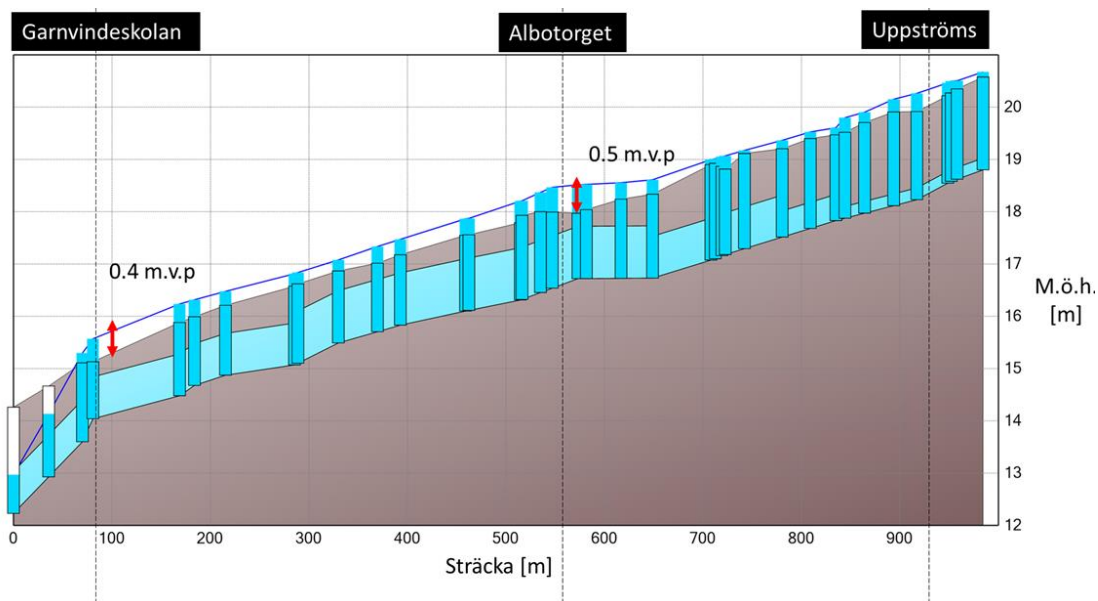
Vid ett 30-årsregn läggs delar av centrala Skepplanda under vatten, framförallt runt Albotorget och Garnvindeskolan (Figur 20). Detta beror i stor utsträckning på att ledningarna går fulla och brunnarna svämmas över. Mycket vatten kommer också från berget i söder och rinner in över Skepplanda.

De områden som syns inringade i Figur 20 är de identifierade riskområdena. I området runt Albotorget står vatten med ett medeldjup på ca 50 cm. Nedströms Albotorget i området som ligger ovanför Garnvindeskolan är medeldjupet omkring 30 cm. Dessa två riskområden är utsatta för översvämningar och dagvattenlösningar bör undersökas för att kunna säkra områdena mot skyfall.



Figur 20 Simulerat maximalt vattendjup vid översvämning av Skepplanda för ett 30-årsregn utan åtgärder. Stora översvämningar konstateras främst inom, och mellan, två av de inringade områdena (Albotorget och Granvindeskolan) samt vid området markerat "uppströms". Tidpunkten för figuren är då medeldjupet i modellen var som högst.

Innan marken översvämmas går ledningarna fulla och börjar svämma över marken nedströms Albotorget (Figur 20). Detta kommer pågå tills översvämningen har nått sitt maximala vattendjup, för att sedan återgå när ledningarna inte längre är överbelastade (Figur 21).

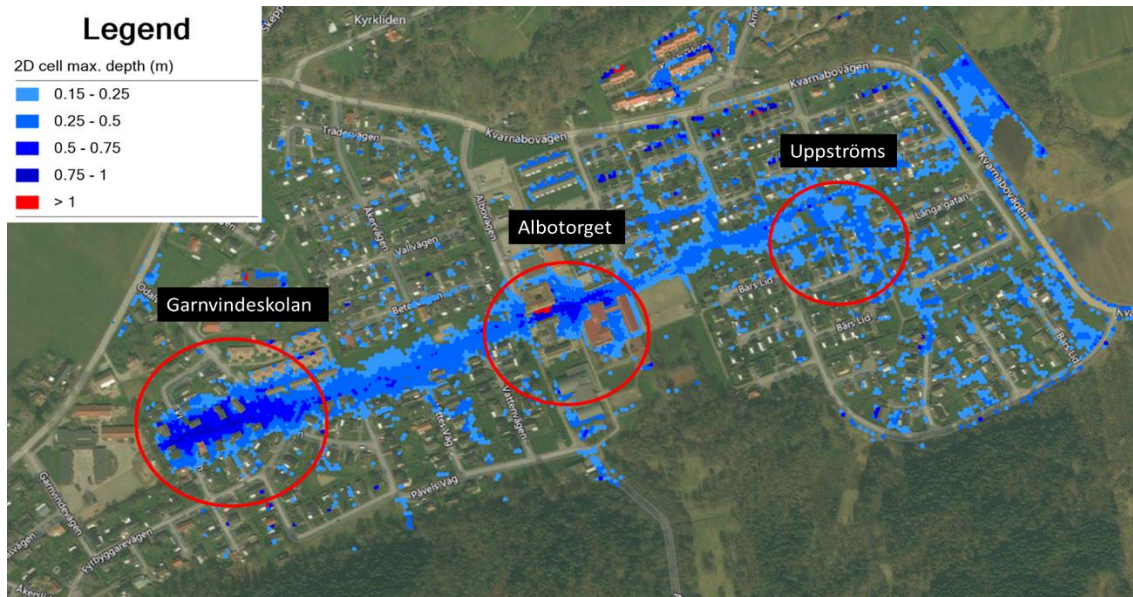


Figur 21 Den översvämmade huvudledningen som löper från området markerat "uppströms" i Figur 20 till Garnvindeskolan, vid ett 30-årsregn utan åtgärd. Ledningarna går fulla och brunnarna svämmar över, detta visas som meter vattenpelare (m.v.p.) i bilden, vilket i den kopplade modellen leder till översvämningar på markmodellen. Tidpunkten för figuren är då medeldjupet i modellen var som högst. M.ö.h. visar höjden över havsnivå.

4.1.2 100-årsregn

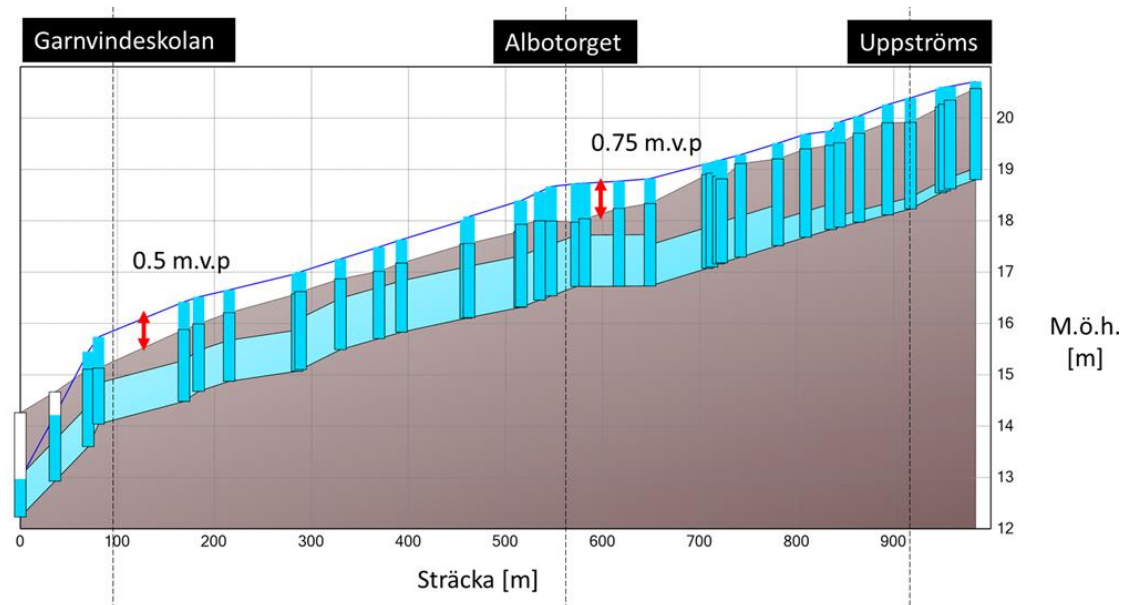
Som redovisas i Figur 22 översvämmas stora delar av Skepplanda vid ett 100-årsregn, framförallt ett område som sträcker sig från Albotorget ned mot Garnvindeskolan. Under denna sträcka går kommunens huvudledning för dagvatten där alla fastigheter runt om i Skepplanda kopplar på sig för att senare rinna ut i ett vattendrag nedströms (Figur 19).

De områden som syns inringade i Figur 22 är de identifierade riskområdena. I området runt Albotorget, står vatten med ett medeldjup på 50 cm. Nedströms Albotorget i området som ligger ovanför Garnvindeskolan är medeldjupet omkring 75 cm. Dessa två områden är utsatta för översvämningar och dagvattenlösningar bör undersökas för att kunna säkra områdena mot skyfall.



Figur 22 Simulerat maximalt vattendjup vid översvämning av Skepplanda för ett 100-årsregn utan åtgärder. Stora översvämningar konstateras främst inom, och mellan, två av de inringade områdena (Albotorget och Granvindeskolan). Även vid området markerat "uppströms" fås stora översvämningar. Tidpunkten för figuren är då medeldjupet i modellen var som högst.

Ledningarna går fulla och börjar svämma över marken nedströms Albotorget (Figur 22). Detta kommer pågå tills översvämningen har nått sitt maximala djup för att sedan återgå när ledningarna inte längre är överbelastade (Figur 23).



Figur 23 Den översvämmade huvudledningen som löper från området markerat "uppströms" i Figur 20 till Garnvindeskolan, vid ett 100-årsregn utan åtgärd. Ledningarna går fulla och brunnarna svämma över, detta visas som meter vattenpelare (m.v.p) i bilden, vilket i den kopplade modellen leder till översvämningar på markmodellen. Tidpunkten för figuren är då medeldjupet i modellen var som högst. M.ö.h. visar höjden över havsnivå.

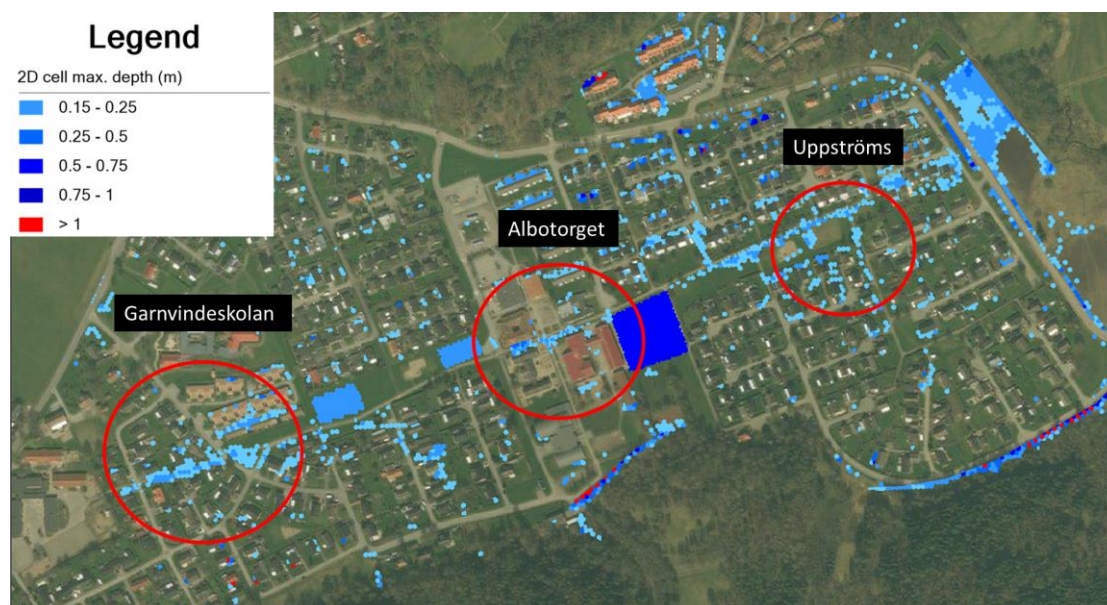
4.2 Översvämning efter åtgärder

Efter analys av resultaten för 30- och 100-årsregn, simulerades åtgärder som beskrivs i kapitel 3.2.5, d.v.s. tre dammar och två svackdiken med vallar. Som visas i Figur 24 och Figur 26, fylls dammarna med vatten (rektangulära områden) medan svackdikena i ytterkanten av Skepplanda visas längs vägarna. Åtgärdernas fokus låg på att göra samhällsviktiga verksamheter t.ex. skolor, mataffärer och sjukhus tillgängliga vid ett skyfall.

4.2.1 Åtgärdernas effekt vid 30-årsregn

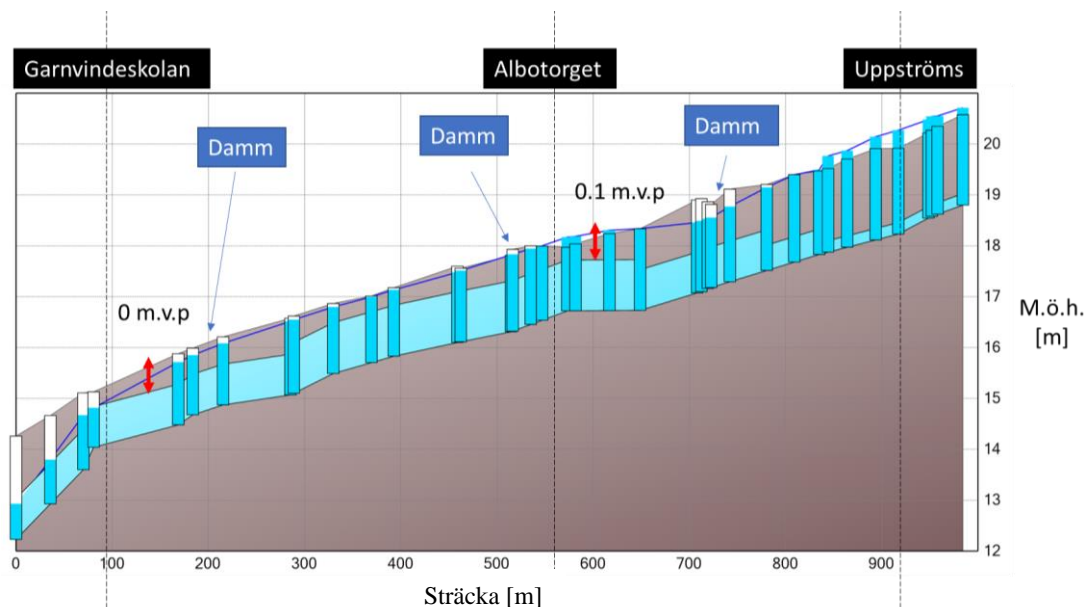
De inringade områdena i rött var innan åtgärder riskområden med ett vattendjup på ca 30 cm (Figur 20). Efter att åtgärderna applicerats i modellen, är dessa områden inte längre översvämmade, då stora delar av vattnet runnit till dammarna och gjort att vattendjupet reducerats i riskområdena (Figur 24).

I området uppströms minskade översvämningens utbredning och djupet reducerades efter att svackdiket konstruerats i modellen. Albotorget blev nästan helt fritt från vatten, endast gångvägen som skiljer torget och skolan åt är nu drabbat av översvämningsdjup på över 15 cm. I området vid Garnvindeskolan minskade översvämningens utbredning mycket och många hus i området säkras mot ett skyfall.



Figur 24 Simulerat maximalt vattendjup vid översvämning av Skepplanda för ett 30-årsregn med åtgärder (tre dammar och två svackdiken med vallar). De inringade områdena i rött är riskområden med stora översvämningsproblem om åtgärder inte implementeras. Tidpunkten för figuren är då medeldjupet i modellen var som högst.

Både vid Albotorget och området vid Garnvindeskolan svämmas brunnarna över och skapar stora översvämningsproblem (Figur 20) om åtgärder inte implementeras. Efter att dammarna konstruerades i modellen sker här nästan ingen översvämning i brunnarna (Figur 25). Dammarna är kopplade till närliggande noder i modellen och deras positioner är som visas i Figur 25.

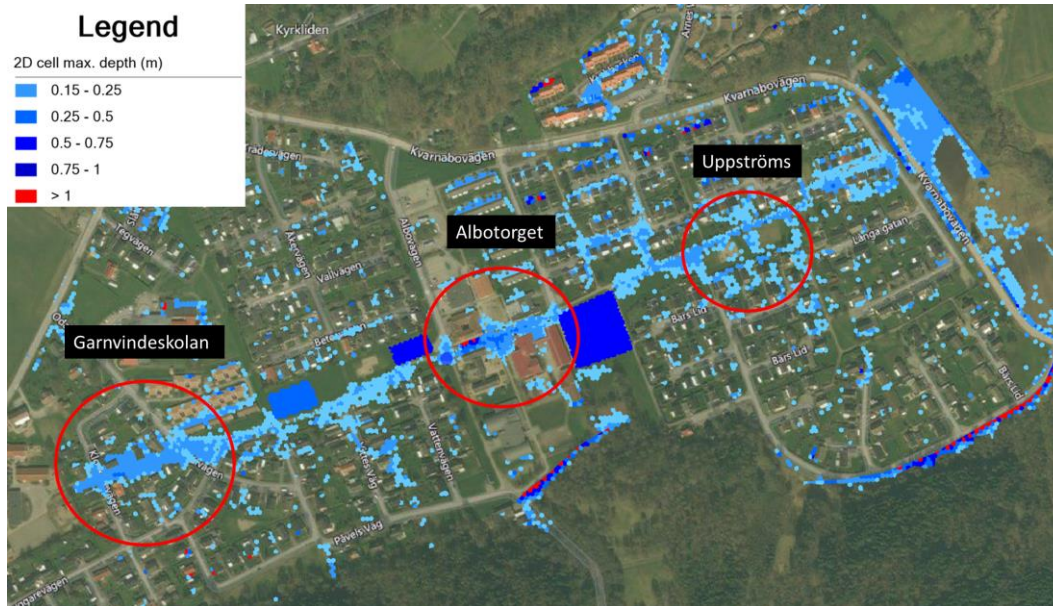


Figur 25 Den en översvämmade huvudledningen som löper från området markerat "uppströms" i Figur 24 till Garnvindeskolan, vid ett 30-årsregn med tre dammar kopplade till nätet och två svackdiken med vallar. Ledningarna går fulla och brunnarna svämmer över, detta visas som meter vattenpelare (m.v.p) i bilden vilket i den kopplade modellen leder till översvämningsdjup på markmodellen. Tidpunkten för figuren är då medeldjupet i modellen var som högst. M.ö.h. visar höjden över havsnivå.

4.2.2 Åtgärdernas effekt vid 100-årsregn

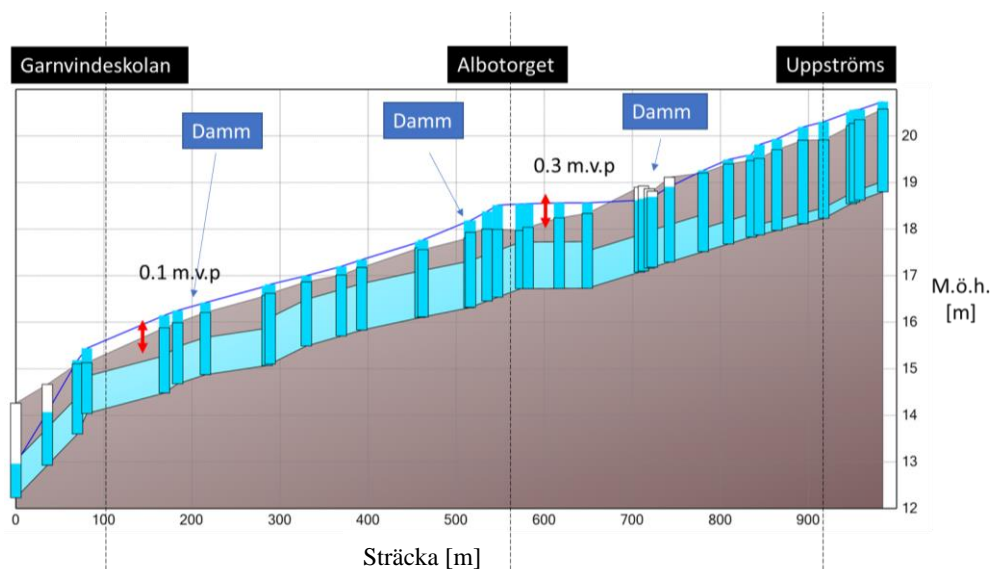
Jämfört med modellen i Figur 22 är översvämningen inte lika utbredd över Skepplanda efter åtgärderna konstruerats (Figur 26). Det finns fortfarande en del vatten i de inringade riskområdena, men dess utbredning och djup har minskat till stor del.

Uppströms är utbredningen på översvämningen ungefär samma som innan åtgärderna vidtagits, medan översvämningsdjupet har minskat, detta till följd av svackdiket öster om området. Även vid Albotorget har översvämningens utbredning minskat, dock finns det en del vatten kvar på gångvägen mellan skolan och torget. Översvämningsdjup har i detta riskområde minskats från ca 50 cm till ca 30 cm. Nedanför Garnvindeskolan är översvämningsdjupet också minskat och dess vattendjup har reducerats mycket, från 75 cm till ca 30 cm. Som nämns i kapitel 2.2.3 och visas i Figur 11 kan dessa djup orsaka fara för människoliv beroende på kombinationen av vattnets djup och hastighet (MSB, 2017).



Figur 26 Simulerat maximalt vattendjup vid översvämning av Skepplanda där ett 100-årsregn med åtgärder (tre dammar och svackdiken med vallar) har studerats. Där det inringade områdena i rött var riskområden med stora översvämningssproblem. Tidpunkten för figuren är då medeldjupet i modellen var som högst

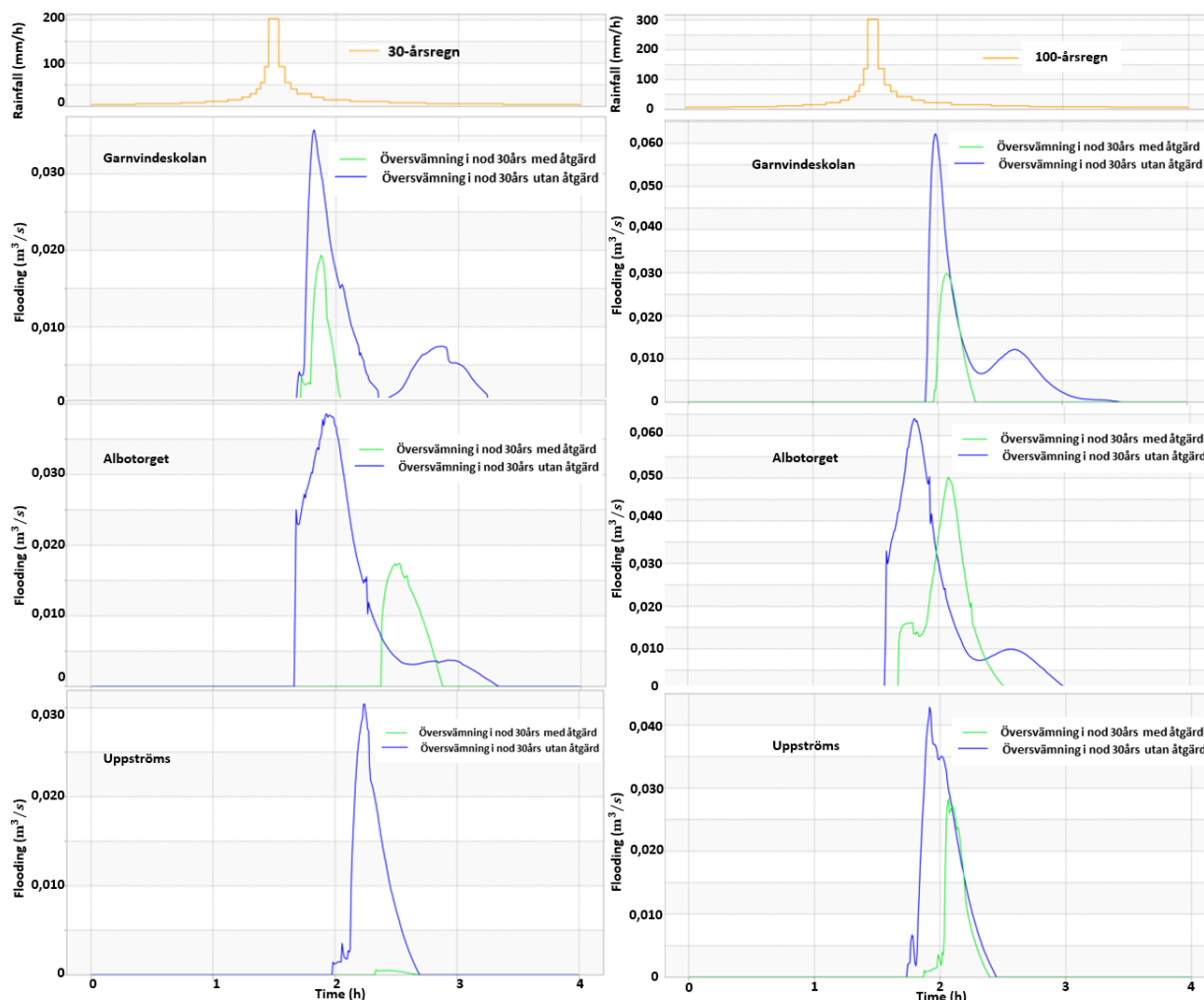
Vid ett 100-årsregn överskrids ledningskapaciteten även efter att dammarna konstruerats i modellen och p.g.a. detta finns det fortfarande översvämmade ytor i riskområdena (Figur 26). Vattenpelaren i brunnarna p.g.a. upptryckning av vatten har minskat efter dammarnas konstruktion från 0,5 och 0,75 till 0,1 och 0,3 m.v.p (Figur 27).



Figur 27 Bild på den översvämmade huvudledningen som löper från området markerat "uppströms" i Figur 26 till Garnvindeskolan, vid ett 100-årsregn med tre dammar kopplade till nätet och två svackdiken med vallar. Ledningarna går fulla och brunnarna svämmer över, detta visas som meter vattenpelare (m.v.p) i bilden vilket i den kopplade modellen leder till översvämningar på markmodellen. Tidpunkten för figuren är då medeldjupet i modellen var som högst. M.ö.h. visar höjden över havsnivå.

4.2.3 Tidsförlopp innan och efter åtgärd

För att undersöka hur översvämningens förlopp ser ut innan och efter föreslagna åtgärder, studeras grafer som visar regnintensitet och hur noderna vid riskområdena svämmer över under regnets varaktighet. En fördröjning av överbelastning samt minskning av översvämning konstateras (Figur 28).



Figur 28 Till vänster visas 30-årsregnets intensitet och hur noder vid Granvindeskolan, Albotorget och Uppströms påverkas (sett uppifrån och ner). Till höger syns samma noder men vid det simulerade 100-årsregnet. Vid Granvindeskolan går det att se en minskning av den totala översvämningen samt att den fördröjda översvämningen vid simulering utan åtgärderna är borta. Albotorget får en minskad och fördröjd översvämning i båda scenarierna där framförallt 30-årsregnets översvämning minskat kraftigt. Uppströms sker nästan ingen överbelastning vid 30-årsregnet medan det vid 100-års har minskat.

5 Diskussion

Som en följd av den mänskliga påverkan på klimatet har mer extremnederbörd konstaterats och för att bromsa upp den negativa utvecklingen krävs stora förändringar i hur vi lever våra liv. Det samhällsbyggare nu måste ta hänsyn till är att säkra samhällen mot de förändringar i nederbörd vi ser är på väg. Att ta hänsyn till detta vid nybyggnation är en sak, att anpassa det som redan har byggts blir svårare.

Efter att ha byggt upp en modell som simulerat översvämning vid både 30- och 100-årsregn, kan det konstateras att båda dessa scenarier ger stora konsekvenser i Skepplanda. De tre stora problemområdena är samma för båda regnscenarierna, även om konsekvenserna är mindre allvarliga vid 30-årssimuleringen, och åtgärder kommer att behövas för att undvika översvämning i båda fallen. För att helt skydda mot ett 100-årsregn skulle väldigt stora insatser krävas, vilka skulle bli både dyra och svåra att implementera utan stor påverkan på befintlig bebyggelse. Därför lades prioritet på att ta bort översvämningarna i riskområdena vid ett 30-årsregn medan vid ett 100-årsregn reducera djupet och utbredningen kraftigt med stort fokus runt Albotorget, för att skydda de samhällsviktiga funktionerna som ligger där. Resultatet visar att problemen vid 30-årsregn nästan helt byggs bort och att de vid 100-årsregn kraftigt minskar, framförallt vid Albotorget.

Många av de dagvattenåtgärder som beskrivs i denna rapport (kapitel 2.2.2) hjälper bra vid mindre regn med kortare återkomsttid, men dess funktion försvinner vid de kraftiga regnscenarier som den här rapporten har för uppgift att studera. Även om sådana lösningar är effektiva för normala nederbördsscenarier väljs här att anlägga tre dammar och två svackdiken med tillhörande vallar för att skapa en barriäreffekt. Två av dammarna byggs på befintliga grönytor som just nu inte fyller någon funktion och som Ale kommun har uttryckt kan användas för just sådana insatser. Den tredje skapas genom att sänka en befintlig fotbollsplan som kan fortsätta att användas så som den gör idag, förutom vid skyfall då den svämmas över (Figur 18). Dammarna har kapacitet att samla stora mängder vatten vilket bidrar till både fördröjning och rening, samtidigt som de är så kallade multifunktionella ytor som invånarna kan nyttja vid torrt väder. Exempel på multifunktionella ytor är lekplatser som blir ”plaskdamm” vid nederbörd, och skateparker och fotbollsplaner som båda tillåts svämma över vid kraftig nederbörd. För att förhindra eventuella olyckor vid dammarna bör de anläggas med flack lutning och gärna vara inhägnade och lätta att tömma efter skyfall. En mer djupgående studie för att välja lämpliga ytor behövs för att bestämma vilka ytor som lämpar sig bäst i just det här fallet. Alla ytor har för- och nackdelar som behöver tas i beaktning från fall till fall, det kan ha att göra med materialval, lämplighet i den miljö den planeras, reningseffektivitet, etc.

För att skydda mot dagvattnet från berget valdes att bygga ut ett redan befintligt svackdike, som rinner längs bostadsområdet, och anlägga ett nytt svackdike söder om Albotorget i slutningen ner från berget (Figur 18). Det befintliga diket kombineras med en vall som hjälper till att skärma av och leda vattnet ut mot åkermark som sedan dräneras bort i Ryksbäcken. Det nya diket anläggs på samma sätt men vattnet skärmas i stället ner mot dammen längst i öst. Att placera dikena och dess vallar uppströms från bebyggelsen har förutom fördelen att de minskar risken för översvämningar vid byggnader, även fördelen att vattnet inte rinner på vägar där mycket föroreningar uppkommer.

Både dammarna och svackdikena har en lång livslängd vid relativt lätta skötselinsatser. Båda lösningarna behöver ses över så att de inte växer igen och skräp som kan riskera att dämna upp konstruktionerna måste rensas bort. Om dammarna dessutom byggs som multifunktionella ytor kräver de ett visst underhåll för att fylla sin funktion vid torrväder. Spelas det t.ex. fotboll på en yta behöver den hållas ren från nedskräpning, vilket också bidrar till att skräp som eventuellt skulle hindra vattentransporten vid skyfall hålls undan. Ytterligare en fördel är, precis som för alla öppna lösningar, att de är lätta att komma åt och se över då de inte ligger nedgrävda i marken.

Ett alternativ som skulle kunna övervägas är att gång- och cykelvägen som löper i svackan genom Skepplanda byggs om till en skyfallsväg. Här har det alternativet valts bort då det skulle kräva stora ingrepp i redan befintlig bebyggelse där vissa passager är väldigt smala och då det under vägen ligger ett ledningsnät som skulle behöva grävas om.

Då ingen historia av översvämningar finns i Skepplanda har ingen kontroll av de bedömda översvämningssområdena i den här modellen kunnat göras. Efter att ha studerat höjdmodellen över området och även varit på platsbesök, konstateras att det är rimligt att just de identifierade riskområdena svämmar över, med tanke på områdets topografi. Det har inte heller funnits någon möjlighet till flödesmätningar, vilket har lett till att ledningsnätet inte har kunnat kalibreras. För att simulera ledningsnätets kapacitet har en råhet som rekommenderas för gamla och slitna betongrör använts. Det hade även varit önskvärt med mer exakta värden för markens råhet och infiltration, råheten har här uppskattats från schablonvärden och infiltrationen bedöms vara väldigt låg som följd av att området ligger på lera. Råheten kan ha överskattats då den här modellen har för avsikt att simulera skyfall där regnet är så intensivt att vattnet inte hinner infiltreras, vilket ger ett snabbare förlopp än om det skulle tillåtas att rinna genom t.ex. gräs.

Att en kopplad modell har valts bidrar till att förloppet på översvämningarna blir mer dynamiska då ledningskapaciteten tas med. MSB (2017) skriver att det vid regn kraftigare än 10-årsregn kan göras ett schablonmässigt avdrag av det vatten som beräknas tas upp i ledningarna. Detta för att ledningsnäten oftast dimensioneras för att klara av just 10-årsregn innan de går fulla. Det är en förenkling som inte har gjorts i den här modellen vilket gör att förloppet med avseende på tid och platser blir mer verklighetstroget.

För ett bättre resultat skulle en inspektion av ledningsnätet, som även tittar på eventuella kopplingar från byggnader och flödesmätningar, vara önskvärt. Även om detta saknas bedöms resultatet vara tillförlitligt och de åtgärder som har föreslagits kommer att leda till att säkra Skepplanda mot översvämningar.

6 Slutsatser

- Många fördröjningslösningar som t.ex. gröna tak är verkningslösa vid skyfall då de inte kan fördröja stora volymer vatten.
- Åtgärder mot översvämningar vid ett 100-årsregn skulle både bli dyra och svåra att implementera i befintlig bebyggelse i Skepplanda.
- Samma områden som svämmar över vid ett 100-årsregn översvämmas också vid ett 30-årsregn. Skepplanda är alltså utsatt även vid 30-årsregn och behöver skyddas även mot detta.
- Multifunktionella ytor kan fördröja vatten då ledningar går fulla. Detta ger också ett mervärde till Skepplanda som kan erbjuda en attraktivare stadskärna.
- Svackdiken med vallar får en barriäreffekt som förhindrar dagvatten från att rinna in i samhället, samtidigt som det inte blir förorenat.
- Det främsta underhållsarbetet för dagvattenlösningarna är rensning av skräp för att förhindra att de däms upp samt tillsyns av växtlighet så att de inte växer igen.
- Efter ett skyfall kan de multifunktionella ytorna kräva extra underhåll som t.ex. borttagning av förorenat sediment, detta beror på vad för yta som anläggs.
- En kopplad modell visar en mer realistisk modell av översvämningsförloppet än en modell med enbart höjddata.
- Kalibrering av ledningsnätet är ett måste om det behövs exakt data över råhet och infiltration. Dock är dessa inte relevanta vid skyfall då ytorna vattenmätas.
- Då ingen historia av översvämning finns i området är modellens resultat svåra att jämföra med verkligheten. Efter att ha studerat höjddata och ett platsbesök verkar resultaten rimliga.

7 Referenser

- Bengtsson, L. (2014). *Identifiering av extrema händelser och dess översvämningskonsekvenser i tätort*. (Svenskt Vatten, 2014-19). Bromma: Svenskt Vatten
- Blecken, G. (2016). *Kunskapsammanställning Dagvattenrening*. (Svenskt Vatten, 2016-05). Bromma: Svenskt Vatten
- Blomquist, D., Hammarlund, H., Härle, P., & Karlsson, S. (2016). *Riktlinjer för modellering av spillvattenförande system och dagvattensystem*. (Svenskt Vatten, 2016-15). Bromma: Svenskt Vatten.
- CHI. (2018a). *Depression Storage*. Hämtat 2018-05-15, från: <https://support.chiwater.com/77760/depression-storage>
- CHI. (2018b). *Manning's n - Closed conduits*. Hämtat 2018-05-25, från: <https://support.chiwater.com/77761/mannings-n-closed-conduits>
- CHI. (2018c). *Manning's n - Overland flow*. Hämtat 2018-05-25, från: <https://support.chiwater.com/77763/mannings-n-overland-flow>
- CHI. (2018d). *Subarea routing*. Hämtat 2018-05-15, från: <https://support.chiwater.com/80217/subarea-routing>
- DHI Sverige AB. (2015). *Bollebygd kapacitetskontroll dagvattensystem*.
- Granath, M., & Thorsell, A. (2016). *Infiltrationsförsök genomsläpplig asfalt*. Uppsala: WRS
- Göteborgs Stad. (2016). *Förslag till översiktsplan för Göteborg - Tillägg för översvämningsrisker*. Göteborg: Göteborgs Stad
- Länsstyrelsen, Skåne. (2009). *PlanPM Dagvatten*. (Länsstyrelsen, 2008:24). Malmö: Länsstyrelsen i Skåne län
- Länsstyrelsen, Stockholm. (2017). *Hur blir klimatet i framtiden? Två scenarier*. Stockholm: Länsstyrelsen i Stockholm.
- MSB. (2014). *Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet*. (MSB, MSB694) Karlstad: MSB.
- MSB. (2017). *Vägledning för skyfallskartering - Tips för genomförande och exempel på användning*. (MSB, MSB1121) Ödeshög: DanagårdLiTHO.
- Pennsylvania Department of Environmental Protection. (2006). *Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual, 642*. <https://doi.org/363-0300-002>
- Pina, R. D., Ochoa-rodriguez, S., Simões, N. E., & Mijic, A. (2016). Semi- vs. Fully-

Distributed Urban Stormwater Models : Model Set Up and Comparison with Two Real Case Studies. <https://doi.org/10.3390/w8020058>

- SGU. (u.å.). *Kartgeneratorn*. Hämtat 2018-01-28, från:
http://apps.sgu.se/kartgenerator/maporder_sv.html
- SMHI. (2011). *Skyfall och rotblöta*. Hämtat 2018-05-02, från:
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/rotblota-1.17339>
- SMHI. (2012). *Skyfall har blivit vanligare*. Hämtat 2018-05-02, från:
<https://www.smhi.se/nyhetsarkiv/skyfall-har-blivit-vanligare-1.23063>
- SMHI. (2013). *Nederbörd*. Hämtat 2018-05-02, från:
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/nederbord-1.361>
- SMHI. (2015a). *Gröna tak, fördjupning*. Hämtat 2018-04-24, från:
<https://www.smhi.se/klimat/klimatanpassa-samhallet/exempel-pa-klimatanpassning/grona-tak-fordjupning-1.116956>
- SMHI. (2015b). *Återkomsttider*. Hämtat 2018-05-02, från:
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/aterkomsttider-1.89085>
- SMHI. (2016). *Skyfallsväg i Karlstad, fördjupning*. Hämtat 2018-05-24, från:
<http://www.klimatanpassning.se/atgarda/lar-av-andra/anpassningsexempel/skyfallsvag-i-karlstad-fordjupning-1.110155>
- SMHI. (2017). *Antalet fall med kraftig dygnsnederbörd*. Hämtat 2018-01-28, från:
<https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindex/antalet-fall-med-kraftig-dygnsnederbord-1.76946>
- Stahre, P. (2004). *En långsiktigt hållbar dagvattenhantering - planering och exempel*. Malmö: Svenskt Vatten.
- Statistiska Centralbyrån. (2015). *Befolkning skepplanda*. Hämtat 2018-04-24, från:
<http://geodata.scb.se/reginawebmap/main/webapp/?typ=tatort&t=T5036>
- Stockholms stad. (2016). *Dagvattenhantering Riktlinjer för parkeringsytor*. (Stockholms stad, version 1.1). Stockholm: Stockholm stad
- Svenskt Vatten. (2011). *Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem*. (Svenskt Vatten, P104). Bromma: Svenskt Vatten.
- Svenskt Vatten. (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten*. (Svenskt Vatten, P110). Bromma: Svenskt Vatten
- Svenskt Vatten. (2017). *Beredskapsplanering för skyfall*. (Svenskt Vatten Utveckling, 2017-03) Bromma: Svenskt Vatten Utveckling.
- Sörngård, P. (2016). *Hög medvetenhet om bräddningar*. Hämtat 2018-04-24, från:
<http://www.svensktvatten.se/om-oss/nyheter-lista/nyheter-avlopp-och->

miljo2/hog-medvetenhet-om-braddningar/

- Vikström, M., Gustafsson, L.-G., German, J., & Svensson, G. (2004).
Dagvattendammars avskiljningsförmåga - påverkande faktorer och metoder för bedömning. (VA-Forsk, 2004-11). Stockholm: Svenskt Vatten.
- WWF. (2007). *Den levande skogsbäcken.* (Odelius, #4140) Solna: WWF
- WWF. (2016). *Living Planet Report 2016 Risk and resilience.* (ISBN 9782940529407). Gland: WWF International
- Zhou, Q. (2014). *A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts.* *Water*, 6(4), 976-992.
<https://doi.org/10.3390/w6040976>