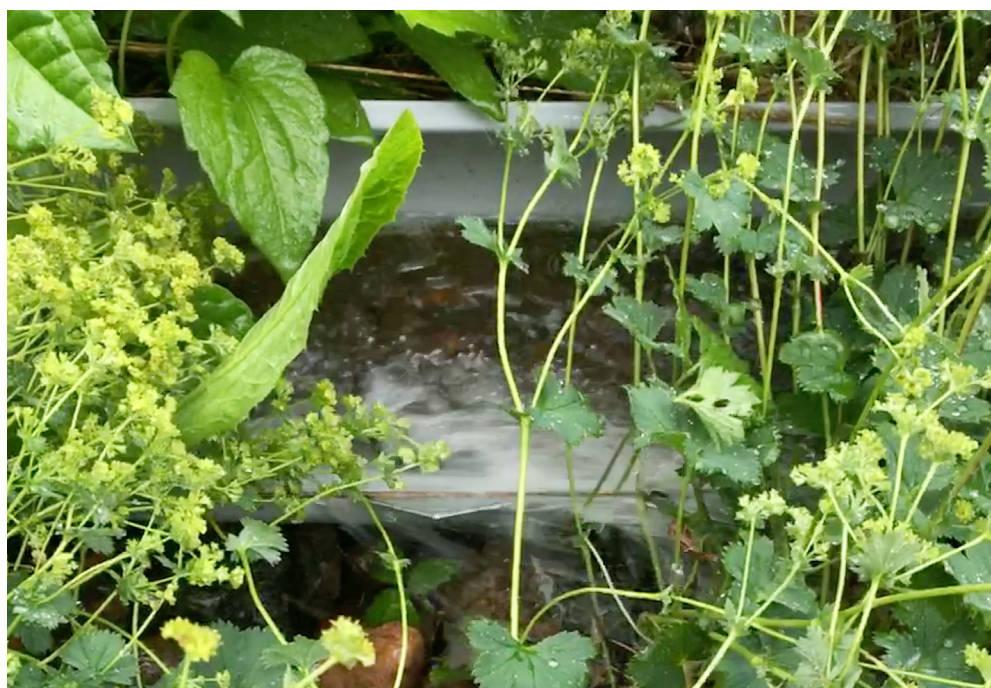


Simulerade effekter av trög avvattning

Mathias von Scherling

Gilbert Svensson

Helene Sörelius



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området.

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten AB

Box 14057

167 14 Bromma

Tfn 08-506 002 00

Fax 08-506 002 10

svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Simulerade effekter av trög avvattnings
Title of the report:	Simulated effects from implementing sustainable urban drainage systems
Författare:	Mathias von Scherling RISE, Gilbert Svensson Vattenforum, Helene Sörelius RISE
Rapportnummer:	2020-1
Antal sidor:	94
Sammandrag:	Hållbar dagvattenhantering i form av fördröjning av regnvattenflöden - trög avvattnings - blir allt vanligare samtidigt som det inte är helt klart vilken effekt som åtgärderna faktiskt ger. Studien har testat modelleringsverktyg för trög avvattnings, simulerat effekter i ledningsnätsmodeller från Göteborg och Karlstad, samt dragit slutsatser om olika åtgärders effekter och vilka mått som bör användas.
Abstract:	Sustainable stormwater management including detention of rainwater flows is becoming increasingly common while it is not entirely clear what effect the measures can be attributed to. The study has tested modeling tools for these measures and simulated effects in pipe network models from Gothenburg and Karlstad and drawn conclusions about the effects of measures and which measures should be implemented.
Sökord:	Hållbar dagvattenhantering, flödesfördröjning, modellsimulering
Keywords:	Sustainable urban drainage systems, flow detention, model simulations
Målgrupper:	Ingenjörer och planerare på kommuner, konsulter inom dagvattenområdet
Omslagsbild:	Regnbädd vid HSB Living Lab i Göteborg. Foto:Mathias von Scherling, RISE
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens webbplats www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2020
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	17-111
Projektets namn:	Modellerade effekter vid implementering av fördröjande åtgärder av dagvatten
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling

Förord

Detta arbete har genomförts som en teoretisk studie i flera steg, från hur man implementerar åtgärder för trög avvattning i modeller, vilka parametervärden som är korrekta, dimensionering av försök till att genomföra en mängd simuleringar med hydrauliska dagvattennätsmodeller.

En modell ska inte förväxlas med verkligheten men en modell kan hjälpa oss att förstå mekanismerna och vad som spelar roll. En modell hanterar många parametrar och det har visat sig att flera skulle behöva en studie i sig. Detta arbete har belyst just detta och även identifierat områden där vidare studier behövs för att bättre kunna skatta effekten av tillämpning av trög avvattning i stor skala.

Detta arbete har genomförts av Mathias von Scherling, Gilbert Svensson och Helene Söreljus på RISE med stöd från en referensgrupp bestående av Per Eriksson och Mathias Knutsson från VA-avdelningen på Karlstads kommun, Lena Blom och Dick Karlsson från Kretslopp och vatten vid Göteborgs stad, David I'Ons från Gryaab AB samt Gunther Leonhardt och Ico Broekhuizen, som finansierats av Dag&Nät vid Luleå Tekniska Universitet. Helene och Gilbert startade projektet under 2017 och Mathias har sedan slutfört det med stöd av Gilbert som bollplank.

Det är vår förhoppning att rapporten ska inspirera och belysa vilka mekanismer som spelar roll vid implementering av åtgärder för trög avvattning inom olika områden och ge stöd för planering av hållbar dagvattenhantering ur ett hydrologiskt perspektiv.

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
Summary	8
Ordlista	11
1 Inledning	14
2 Syfte	16
3 Avgränsningar	17
4 Teori	18
4.1 Åtgärder för att minska flödespåverkan från dagvatten	18
4.2 Åtgärders storlek och effekt	22
4.3 Olika åtgärder för trög avvattnings	24
4.4 Hydrologiska begrepp	31
4.5 Simulering av åtgärder för trög avvattnings med modellverktyg	36
4.6 Ett exempel på regnbäddar från verkligheten	39
5 Metod	41
5.1 Genomförande av studie	41
5.2 Modellverktyg	41
5.3 Dagvattenmodeller använda i studien	42
5.4 Försöksupplägg	44
5.5 Generella inställningar och randvillkor	44
5.6 Del 1. Utformning, dimensionering samt test av olika åtgärders prestanda	48
5.7 Del 2. Implementering av åtgärder i dagvattenmodeller över verkliga områden	52
6 Resultat	60
6.1 Del 1. Åtgärders prestanda	60
6.2 Del 2. Implementering i modeller	70
6.3 Sammanfattning av resultat	77
7 Slutsatser och diskussion	79
7.1 Åtgärders effekter	79
7.2 Principiella skillnader mellan olika typåtgärder	81
7.3 Om den teoretiska konstruktionen av studien	81
7.4 Rekommendationer för val av strategi	83
7.5 Förslag till fortsatta studier	84
8 Referenser	85
Bilaga 1. Modelluppsättning för implementerade åtgärder i modellverktyg	87

Sammanfattning

Hållbar dagvattenhantering i form av fördröjning av regnvattenflöden – trög avvattning – blir allt vanligare samtidigt som det inte är helt klart vilken effekt som åtgärderna faktiskt ger. Studien har testat modelleringsverktyg för trög avvattning, simulerat effekter i ledningsnätsmodeller från Göteborg och Karlstad, samt dragit slutsatser om olika åtgärders effekter och vilka mått som bör användas.

Urbanisering, förtätning, stadsutveckling och klimatförändringar ställer nya krav på hur svenska kommuner ska planera för en hållbar dagvattenhantering. Olika åtgärder för hållbar dagvattenhantering där dagvattenvolymer minskas och flödet fördröjs kallas i rapporten för åtgärder för trög avvattning och har studerats ur ett volyms- och flödesperspektiv. Det handlar om åtgärder som regntunnor/regnmagasin, gröna tak, utjämningsmagasin, regnbäddar, infiltrationsstråk, permeabla beläggningar och diken/svackdiken.

Åtgärder för trög avvattning har sedan länge rekommenderats till exempel i P105 Hållbar dag- och dränvattenhantering (Svenskt Vatten, 2011). Frågan är dock vilka flödes- och volymseffekter som olika typer av åtgärder kan tillgodoräknas och vad den samlade effekten blir när de när implementeras i större skala.

Projektet syftade till att ta fram ett kunskapsunderlag kring trög avvattning. Kunskapsunderlaget är tänkt att kunna vara ett stöd vid val av åtgärder för trög avvattning. Det riktar sig till dem som arbetar med planering av hållbar dagvattenhantering i kommunen samt till konsulter som utreder och genomför dagvattenutredningar med förslag till åtgärder.

Rapporten beskriver olika åtgärders funktion och klargör vilka mekanismer som påverkar åtgärdernas effekt. Olika åtgärders fördröjningseffekt i avloppsledningsnät har studerats i förhållande till den omfattning som åtgärderna har implementerats. Studien har genomförts med hjälp av modellsimuleringar med det mest använda modellverktyget för vatten- och avloppsledningsnätstillämpningar i Sverige. Arbetet delades upp i två delar. I den första delen definierades och dimensionerades olika åtgärder för trög avvattning i modellverktyget, och prestandan för de olika åtgärderna utvärderades. I den andra delen genomfördes fallstudier i ledningsnätsmodeller som erhållits från Karlstad och Göteborg.

De olika testerna syftade till att svara på olika frågor kring implementering av åtgärder för trög avvattning, bland annat följande:

- Hur stor samlad effekt kan man få utifrån olika implementeringsgrad?
- Vilken potential finns för implementering inom olika områden?
- Hur stor är potentialen för infiltration till mark – vilken är betydelsen av ökad grönytefaktor?
- Hur påverkar distributionen av åtgärder den effekt som erhålls?

- Hur stora konventionella utjämningsmagasin skulle behövas för att uppnå motsvarande flödesutjämnande effekt som uppnås med åtgärder för trög avvattning?
- Kan man utifrån studien ge några generella rekommendationer till vilken strategi för åtgärdsimplementering som ska tillämpas?
- Hur ska åtgärder för trög avvattning implementeras i modellsimuleringarna beträffande uppbyggnad, dimensionering och parametervärden?

En generell slutsats var att man föga förvånande får effekt efter insats. Det som spelar in är hur åtgärderna är dimensionerade och i hur hög grad de har implementerats inom ett område. I punktform kan det sammanfattas så här:

- Effekt efter dimensionering.
- Effekt efter implementeringsgrad.
- Möjlighet till infiltration i omgivande mark har stor ackumulerad effekt över året liksom effekt från vätningsförluster.
- Infiltration till omgivande mark och vätningsförluster har en potentiellt stor effekt på flöden. Men effekten varierar beroende på regn och avdunstning under året.
- Det kan vara svårt för VA-huvudmannen att få igenom åtgärder för den areal hårdgjorda ytor som krävs på grund av att en stor del ligger på privat mark.
- Ett konventionellt utjämningsmagasin kan vara mer effektivt för att enbart reducera flöden.

För att kunna genomföra studien togs det också fram ett samband för översättning av beräkningssätt för ytavrinning från en tid-areametod till en metod som tillämpar Mannings metod (används till exempel i SWMM-modellen; EPA, 2020) som bör kunna vara användbart för många som vill arbeta med modellsimulering av åtgärder för trög avvattning utifrån befintliga ledningsnätmodeller.

Utifrån studien rekommenderas en övergripande strategi för att arbeta med trög avvattning. För att minska påverkan från höga dagvattenflöden föreslås att i första hand arbeta för att minska den areal som avvattnas till ledningsnätet, i andra hand verka för ökad andel genomsläppliga ytor och sörja för möjlighet till exfiltration, i tredje hand genomföra konkreta åtgärder för trög avvattning i den mån det är möjligt och kostnadseffektivt. Slutligen återstår att avleda och vid behov utjämna de dagvattenflöden som ändå uppstår.

Då studien är genomförd som en teoretisk studie med hjälp av modellverktyg så finns det ett behov av att verifiera verktygets fysikaliska beskrivning av olika åtgärder för trög avvattning. Det finns behov av ytterligare studier av hur åtgärder för trög avvattning ska simuleras där verktygens funktion utvärderas mot mätningar och vilka parametervärden som ska användas. Hur fungerar till exempel avdunstning för att torka upp växtsubstrat i verkligheten?

Summary

Urbanization, densification, urban development and climate change place new demands and challenges on how Swedish municipalities should plan for sustainable stormwater management. The benefits of local detention and purification of stormwater are many: reducing flood risk; reducing the amount of contaminants reaching different recipients; increase in groundwater recharge and more. In the case of combined sewer networks, the load on the treatment plant as well as the risk of overflows and basement flooding also decrease.

Sustainable drainage systems (SUDS – sustainable urban drainage systems) are a collection of water management practices that aim to align modern drainage systems with natural water processes. Various types of SUDS have been studied from a volume and flow perspective.

SUDS measures have been recommended for a long time. For example, the publication P105, Sustainable stormwater and drainage water management by the Swedish Water & Wastewater Association contains many advice concerning planning and design of different measures. The question, however, is what flows and volume effects different types of measures can be attributed to and what the overall effect will be when they are implemented to a greater extent.

The aim of the work was to develop a knowledge base on drainage by SUDS measures with the help of model simulations. The knowledge base is intended to be able to support the choice of appropriate SUDS measures. It further describes the function of different measures and clarifies which mechanisms influence the effect of different measures. Furthermore, the efficiency of various measures in sewage network models has been studied, i.e. what effect is obtained at a particular degree of implementation. What measures should be used? The report is addressing those who work with planning of sustainable stormwater management in the municipality as well as to consultants who investigate and conduct stormwater investigations for suitable measures.

The study was conducted using model simulations with the most widely used model tool for water and wastewater network applications in Sweden. The work was divided into two parts. In the first part, different SUDS measures were defined and dimensioned in the model tool and the performance of the different measures was evaluated. In the second part, case studies were conducted in sewer network models obtained from Karlstad and Gothenburg. The sewer network models covered separate stormwater sewers as well as combined sewers. In the case studies, the defined measures from the first part were used. The case studies were conducted in several different tests to evaluate different aspects of large-scale implementation of SUDS measures. The model simulations were carried out for both synthetic rains of the so-called CDS type and for rain series covering an entire year of rain data collected from SMHI's automatic stations.

The various tests aimed to answer various questions regarding the implementation of SUDS measures such as:

- How much total effect can you get based on different degrees of implementation?
- What potential exists for implementation in different types of areas?
- What is the potential for infiltration into soil – what is the significance of an increased "green area factor"?
- How does the distribution of measures affect the effect obtained?
- How large conventional detention reservoirs would be needed to achieve the equivalent flow reducing effect achieved with SUDS measures?
- From the study, can you give some general recommendations on which strategy to use for reducing stormwater flows and implementing SUDS?
- How should SUDS measures be implemented in the model simulations regarding their physical description, dimensioning and parameter values?

Based on the study, conclusions were drawn about various SUDS measures and what determines their effect. A uniform way of designing the measures was also developed so that they could be compared. In order to be able to carry out the study, a mathematic relation was also developed for translating the method of calculation of surface run-off from a time-area method to a method applying the Manning method (used for example in the SWMM model (EPA, 2020)) which should be useful for many who want to work with model simulation of SUDS measures using existing sewer network models based on the time-area method.

An apparent conclusion was that you obtain results after the amount of measures taken. The main factors are how the measures are designed and sized and to what extent they have been implemented within an area. Achieving large effects on peak flows requires a large percentage of the area to be implemented, which can be difficult to achieve since a large part of all impermeable surfaces is located on private land and the municipality cannot enforce measures to be taken. If the purpose of SUDS measures is to only reduce peak flows, it is probably more efficient to build conventional detention storages. If you look at total run-off, all measures that contain some form of material that must be soaked up before run-off occurs can have a large accumulated effect on run-off over the year. This is because the current water holding capacity of the SUDS measures often exceeds the volume of the rain in millimeters. Between rainfall, evaporation and transpiration from plants makes the material to dry up. This effect is greatest during the warm season. Similarly, the possibility of infiltration into surrounding soils can have a large accumulated effect over the year, even if it does not withstand all types of rain. How measures are distributed in the area can also have an impact on the flow effect that is achieved due to the combination of flow detention and time of concentration to different points in the pipeline network. In a few bullets the conclusions can be summarized as follows:

- Effect according to design and sizing.
- Effect by degree of implementation.
- The possibility of infiltration in surrounding soil as well as the effect from wetting losses has a large accumulated effect over the year.
- Infiltration to surrounding soil and wetting losses has a potentially large effect on flows. But the effect varies depending on the rainfall and evaporation during the year.
- It can be difficult for the Water and Sewage department to succeed in taking sufficient measures for the area of impermeable surfaces because a large part is situated on private land.
- A conventional detention storage can be more effective when it comes to reducing flows only.

Based on the study, an overall strategy for working with SUDS measures is recommended. In order to reduce the impact of stormwater flowpeaks, it is proposed to primarily work to reduce the area that contributes with stormwater to the pipeline network, in second place work for an increased proportion of soft surfaces and provide opportunities for infiltration and exfiltration, and in the third place implement concrete SUDS measures in to the extent possible and what is cost-effective. Finally, the surplus run-off has to be diverted in trenches and in pipes and, if necessary, using storm-water detention storages.

As the study is conducted as a theoretical study using model tools, there is a need to verify the tool's physical description of various SUDS measures. There is a need for further studies on how simulations for SUDS measures should be simulated where the tool's function is evaluated against measurements.

The parameter values to be used for the model tool need to be studied. This applies, for example, to conductivity (both initial and saturated) as well as data on the water-holding capacity for various materials used in the market. These data are often difficult to obtain. How does the infiltration capacity of the surrounding soil vary under different conditions? More studies are needed in this field.

Ordlista

Avrinning	Vattnets rörelse från ett område. Ofta avses ytavrinning av flöden med ursprung i nederbörd. Åtgärder för <i>trög avvattning</i> kan <i>fördröja</i> och reducera avrinningen.
Avrinningskoefficient	Mått på den andel av ett avrinningsområde som kan bidra till avrinningen vid regn.
Blockregn	Ett konstruerat regn med en bestämd regnvolym som faller under en bestämd tidsperiod med en konstant intensitet, ofta utformat för att motsvara en viss <i>återkomsttid</i> . Man kan också tala om en blockregnsvolym som motsvarar en utvärdering av regnvolym för en viss tidsperiod.
Bräddning	Begrepp som ofta används för att beskriva utsläpp av orenat avloppsvatten men som här används för att beskriva ett bräddflöde från ett fullt magasin.
CDS-regn	Ett syntetiskt regn som är konstruerat för att motsvara samma återkomsttid för alla <i>varaktigheter</i> inom regnet. Till exempel har ett entimmes tioårs CDS-regn bl.a. egenskapen att den maximala regnmängden under såväl tio minuter som under sextio minuter och varaktigheter däremellan uppfyller tio års återkomsttid enligt statistiska samband. CDS står för Chicago Design Storm och är en metod att konstruera sådana regn för dimensionering av bl.a. ledningsnät men har i övrigt inget med Chicago att göra.
Dagvatten	Ytligt avrinnande regn- och smältvatten.
Dimensionerande flöde	Mått på det flöde som ett system byggs för att klara av. Det dimensionerande flödet för ett område beräknas oftast som produkten av områdets area, <i>avrinningskoefficient</i> och regnintensitet för en viss <i>återkomsttid</i> och <i>varaktighet</i> motsvarande rinntiden för området (rationella metoden).
Evaporation	Avdunstning från ytor då vatten övergår från flytande fas till gasfas. Evapotranspiration avser summan av evaporation och transpiration från växter. Vid transpiration transporteras vatten genom växter till porer på bladens undersida där det övergår till vattenånga.
Exfiltration	I denna rapport används begreppet för att beteckna flödet ut från en åtgärd till omgivande mark för att särskilja från <i>infiltration</i> in i själva åtgärden eller infiltration i mark.
Fältkapacitet	Begrepp som beskriver hur stor andel av en jordvolym som precis liksom för en tvättsvamp måste mättas med vatten innan den börjar rinna av. Man pratar om markens vattenhållande förmåga.
Fördröjning	En process hos en <i>åtgärd</i> som ger ett lägre utflöde än inflödet under en längre tid. Det kan också vara en ren tidsfördröjning på grund av en längre rinnväg.
Hållbar dagvattenhantering	Samlingsbegrepp för olika åtgärder för hållbar dag- och dränvattenhantering som bidrar till rening och fördröjning av dagvatten. I Sverige också tidigare kallat LOD, Lokalt omhändertagande av dagvatten.

Infiltration	I denna rapport avses framför allt infiltration i en <i>åtgärd</i> . Det kan anges med en hastighet (längdenhet/tidsenhet t.ex. mm/h) varmed vatten kan tränga ned i exempelvis i ett jordsubstrat.
Hydraulisk konduktivitet	Markens ledningsförmåga för vatten. Det talas också om markens genomsläpplighet – permeabilitet eller hur vattnet rör sig genom markprofilen – perkolation.
Magasinering	När inflödet momentant överstiger utflödet i en åtgärd så kommer vattenmängder att lagras i åtgärden. Till exempel i ett magasin med strypt utflöde.
Modellbegrepp	Ordet <i>modell</i> kan användas på många sätt. I denna rapport undviks användningen av modell i ensam form utan följande benämningar föredras användas: <i>Hydraulisk avloppsnätsmodell</i> eller <i>dagvattenmodell</i> för att beteckna en uppbyggd hydraulisk och hydrologisk modell över ett område med avrinningsområden samt eventuellt ledningsnät. <i>Modellering</i> betecknar såväl uppbyggnad av avloppsnätsmodell som modellsimulering med avloppsnätsmodellen. <i>Modellsimulering</i> innebär att modellen ”körs”. Det är också vanligt att det beskrivs som modellberäkning i olika texter. <i>Modellverktyg</i> betecknar den programvara som används för att modellera hydrologi och hydraulik.
Porositet	Med porositet menas porvolymens andel av den totala volymen för till exempel en jordvolym.
Reducerad area	Den del av ett avrinningsområde som medverkar till avrinningen. Också kallat deltagande yta. Den reducerade arean erhålls när man multiplicerar totalarea med dess avrinningskoefficient.
Regnintensitet	Hur många millimeter det regnar per tidsenhet? I VA-sammanhang anges ofta regnintensiteten uttryckt i liter per sekund och hektar. Men då infiltrationshastigheter ofta anges i mm/h så föredras denna enhet i denna rapport. Regnintensitet på 100 l/s/ha motsvarar 36 mm/h.
Rinntid	Den maximala tid det tar för regn som faller inom ett avrinningsområde att rinna till områdets utloppspunkt. Ett annat ord för rinntid är koncentrationstid. Rinntiden kan sägas vara den tid det tar att koncentrera all avrinning till en punkt. Begreppet rinntid är tätt sammankopplat med <i>dimensionerande flöde</i> som beräknas med en statistisk regnintensitet för en viss varaktighet som motsvarar den aktuella rinntiden.
Strypning	Att genom begränsad rördimension eller flödesbroms begränsa (maximalt) utflöde från en anläggningsdel. Strypningen leder till att vattenmängder kommer att behöva <i>magasineras</i> i de fall inflödet överskrider flödesbegränsningen.
Trög avvattning	I denna rapport ett samlingsbegrepp på <i>åtgärder</i> som har en fördröjande och eller en avrinningsreducerande effekt. Begreppet fungerar ur ett flödesperspektiv synonymt med begreppet hållbar dag- och dränvattenhantering.
Varaktighet	Hur lång tid något varar med vissa förutsättningar till exempel med en viss regnintensitet.

Vissningsgräns	Andel vatten i jord under vilken växter inte längre kan suga upp vatten och vissnar. Vid modellering blir detta en lägsta möjlig vattenhalt som kan uppstå i jordmaterialet.
Vättningsförlust	Vattenmängder som fallit som regn men som ej kommer att bilda avrinning eller dräneringsflöden. Inom hydrologisk modellering kan det också kallas för initialförlust.
Ytfaktor	Används här för att beteckna förhållandet mellan tillrinningsarea och anläggningsarea för en åtgärd. Observera att ifall nederbörden även faller över åtgärden så ingår anläggningsarean i tillrinningsarean.
Åtgärd	I denna rapport avses olika lösningar avsedda att ta hand om dag- och dränvatten – åtgärder för <i>trög avvattning</i> .
Återkomsttid	Hur ofta något inträffar rent statistiskt. Avseende regn är ”något” kombinationen av <i>regnintensitet</i> och <i>varaktighet</i> . Kombinationen är viktig – ifall 25 mm faller på en timme är det mycket ovanligt (ca 1 gång på 10 år) men ifall det faller under ett helt dygn så är det inte så ovanligt (ca 24 ggr om året)

1 Inledning

Urbanisering, förtätning, stadsutveckling och klimatförändringar ställer nya krav och utmaningar på hur svenska kommuner ska planera för en hållbar dagvattenhantering. Fördelarna med att lokalt fördröja och rena dagvatten är många: minskning av översvämningsrisken; minskning av mängden föroreningar som når olika recipienter; ökning av grundvattenbildning med mera. I fallet med kombinerade ledningsnät minskar också belastningen på reningsverket samt risken för bräddning och källaröversvämning. En lokal hantering av dagvatten kan också kombineras med att skapa en estetiskt tilltalade närmiljö. Samtidigt som städerna förtätas kring ett befintligt ledningsnät med begränsad kapacitet så förväntas skyfall bli vanligare och kraftigare i takt med klimatförändringar.

I publikationen ”Hållbar dag- och dränvattenhantering” (Svenskt Vatten 2011) görs en gedigen genomgång av olika möjligheter till hållbar dag- och dränvattenhantering genom hela planarbetsprocessen. Trots ett avsnitt om dimensionering och utformning är det dock inte helt klargjort vilka effekter som kan förväntas vare sig från en enskild åtgärd eller av en storskalig tillämpning. Där finns gott om goda exempel, men hur åtgärder påverkar flödet är endast kvalitativt beskrivet. Det är också svårt att dra slutsatser hur en storskalig tillämpning av hållbara dagvattenåtgärder skulle påverka flöden och hur olika förhållanden påverkar effekten.

Göteborgs avloppsledningssystem består till cirka en fjärdedel av kombinerat system. VA-huvudmannen i Göteborg, Kretslopp och vatten fick i november 2016 ett föreläggande att undersöka vilken effekt kraftigt ökad investeringstakt skulle ge för miljönytta avseende minskad bräddning. Bräddmängder ligger på höga nivåer till följd av kraftigt regnande. Mellan 2012–2017 bräddade det i snitt ca 3,3 miljoner kubikmeter avloppsvatten per år. Bräddmängden är direkt korrelerad till nederbörds mängden. (Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad, 2019).

Även Karlstad har återkommande problem med hantering av sitt dagvatten och delar av staden ligger inom ett av 25 områden identifierade av MSB med betydande översvämningsrisk (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2018). Översvämningsrisken hänförs främst till vattennivåer i Väneren och Klarälven men det innebär i sin tur extra krav på dagvattenhanteringen eftersom dämningen gör att dagvattensystemen inte får full kapacitet. Delar av kommunens ledningsnät för dagvatten är dimensionerat enligt gamla dimensioneringskrav och lider idag av kapacitetsbrist. Därför ställer kommunen bl.a. krav på fördröjning av dagvatten inom kvartersmark och allmän platsmark i samband med förtätning av bebyggelse inom befintliga områden.

Denna rapport innehåller en teoretisk studie med hjälp av modellverktyg för att öka kunskapsunderlaget kring hållbar dag- och dränvattenhantering ur ett flödesperspektiv. Begreppet trög avvattning används i denna rapport för att beskriva olika åtgärder i syfte att minska flödespåverkan på ett

dagvattenförande ledningsnät genom att dels minska avrinningsvolymerna, dels fördröja och magasinera flöden.

2 Syfte

Denna studies syfte är att med hjälp av modellsimuleringar ta fram ett kunskapsunderlag kring implementering av trög avvattning för större områden. Den ska vidare beskriva olika åtgärdstypers funktion och klargöra vilka mekanismer som påverkar åtgärdernas effekt. Vidare ska olika aspekter av åtgärdsimplementering studeras med hjälp av avloppsnätsmodeller över områden i Karlstad och Göteborg. Rapporten riktar sig till dem som arbetar med planering av hållbar dagvattenhantering i kommunen såväl som till konsulter som utreder och genomför dagvattenutredningar med förslag till åtgärder.

Ett antal utredningsfrågor har styrt studien:

- Hur fungerar olika åtgärder för trög avvattning? Vad är styrande för den effekt som uppnås?
- Hur kan åtgärder för trög avvattning simuleras med hjälp av modellverktyg?
- Hur ska åtgärder byggas upp i modellverktyget för att de ska kunna jämföras på ett likvärdigt sätt?
- Vilken effekt erhålls från olika grader av implementering av åtgärder för trög avvattning?
- Vilken potential för trög avvattning kan det finnas det inom olika områden?
- Vilken kapacitet har omgivande mark att ta emot vatten?
- Hur påverkar distribution av åtgärd för trög avvattning vilka toppflöden som kan uppstå?
- Vilken effekt har åtgärder för trög avvattning på total avrinning över året?
- Vilken kapacitet har åtgärderna när det häftiga regnet väl kommer?
- Hur ser effekten från åtgärder för trög avvattning ut jämfört med konventionell magasinsfördröjning?

Slutligen syftar studien till att dra slutsatser till stöd för val av åtgärder för trög avvattning när dessa ska implementeras i ett större område.

3 Avgränsningar

Studien ser endast till effekter som åtgärder för trög avvattning har på vattenflöden till ett dagvattenförande ledningsnät och studerar inte de andra positiva effekter som det också kan medföra avseende exempelvis rening av föroreningar, en mer estetisk miljö samt bullerreducering (dock så visar studien hur minskning av årlig avrinning blir ett resultat av åtgärder för trög avvattning vilket förstås indirekt också påverkar mängden föroreningar som fastläggs i åtgärderna).

Studien täcker in effekter vid kraftiga regn då ett dagvattenförande ledningsnät ska kunna hantera avvattningen av ytor, d.v.s. upp till 30 års återkomsttid enligt P110 (Svenskt Vatten, 2016). Hantering av skyfall (återkomsttider därutöver) då systemen antas gå fulla ingår inte i studien.

Studien har undersökt mekanismerna för trög avvattning och inrymmer ingen detaljerad undersökning av behovet och förutsättningarna för att tillämpa trög avvattning i de områden i Göteborg och Karlstad som tagits med i studien. Implementerade åtgärder kan därför inte ses som något konkret åtgärdsförslag.

Studien har använt fördefinierade funktioner i modellverktyget för simulering av trög avvattning och omfattar inte en genomgående utvärdering av hur väl dessa stämmer överens med verkligheten men vissa slutsatser kan dras utifrån andra utförda studier. Inte heller går studien in i detalj avseende hur kapaciteten till infiltration i omgivande mark varierar mellan olika regntillfällen utan använder sig av enkla samband.

4 Teori

Åtgärder för att minska inverkan från höga flöden i dagvattenförande ledningsnät handlar i princip om två saker:

- Minska avrinningen: Se till att regnvatten inte hamnar i ledningsnätet överhuvudtaget. Detta handlar dels om att koppla bort ytor från ledningsnätet och dels om att öka vätningsförlusterna.
- Fördröj flödet: Genom att minska avrinningshastigheten så erhålls lägre toppflöden och ett förlängt avrinningsförlopp. Fördröjning leder automatiskt till magasinering.

4.1 Åtgärder för att minska flödespåverkan från dagvatten

4.1.1 Minska avrinningen

Den mest effektiva åtgärden för att minska påverkan från dagvattenflöden är att se till att dagvatten inte hamnar i ledningsnätet överhuvudtaget.

Åtgärder för att minska inflödet kan då innebära att:

- ”Koppla bort” ytor
 - Infiltrera till mark – till exempel genom att låta stuprör som tidigare varit kopplade till dräneringen istället ledas ut på gräsmattan eller genom att infiltrationsmagasin anläggs.
 - Leda dagvatten till annat system med högre kapacitet
- Öka vätningsförluster
 - Anläggande av avrinningsvägar som har mer skrovligheter och håligheter än till exempel asfalt som måste fyllas upp innan avrinning kan ske.
 - Byta ut hårdgjorda ytor mot mjuka ytor vars material först måste mättas till fältkapacitet innan avrinning kan ske.

Mellan regntillfällen så verkar avdunstning och evapotranspiration för att tömma vätningsmagasinen inför nästa regntillfälle. Ökade vätningsförluster är en positiv bieffekt hos de flesta åtgärder för trög avvattning.

Avdunstning och vattenanvändning mellan regn påverkar

Åtgärder för trög avvattning kommer att variera i effekt på grund av de hydrologiska förhållandena under året som påverkar vattenmättnaden i de magasin och de substrat som finns. Avdunstning och transpiration av växter verkar för att torka upp jordsubstrat ned till en minsta vattenhalt som växterna kan suga upp (den så kallade vissningsgränsen). Men även till exempel väder och vattenanvändning i det fall regntunnor används för att bevattna trädgården kommer att påverka hur stort magasin som finns tillgängligt för att minska inflödet till ledningsnätet. Om substratet/magasinet är helt mättat/fyllt så kommer allt vatten som tillförs att rinna rakt igenom och ingen vätningsförlust kommer att ske.

En mindre studie av effekten från upptorkning mellan regntillfällen har gjorts i denna rapport, se avsnitt 6.1.3. En teoretisk studie har bedrivits i ett annat projekt (von Scherling, Effekt av gröna tak, utvärderat för projektet Environmental Return of Investments, 2019) där tio års nederbörd och temperaturberäknad avdunstning har använts för att studera påverkan på vattenmättnadsgraden i två typer av gröna tak i Malmö och Kiruna sommartid. De frågor som ställdes i samband med studien var:

- Hur sannolikt är det att det gröna taket har kapacitet att "svälja" hela regnet?
- Vilken är den ackumulerade effekten för det gröna taket jämfört med en hårdgjord yta?

Två olika taktyper studerades: ett tunnare mossasedumtak med ca 41 mm tjocklek (inklusive 10 mm vattenhållande filt) respektive ett tjockare sedumörtgrästak med ca 136 mm tjocklek (inklusive 40 mm vattenhållande mineralullslager).

Slutsatsen från studien var att ett grönt tak har stor sannolikhet att kunna ta hand om hela regnet utan att avrinning sker. Sannolikheten ökar med ökad tjocklek på taket och är större i Malmö än i Kiruna, se Tabell 4.1. Ett grönt tak får en större ackumulerad effekt (reduktion av total avrinning) i södra än i norra Sverige, se Tabell 4.2. Orsaken till detta är att temperaturen påverkar avdunstningen vilket innebär att ett tak i söder generellt sett är torrare med en större tillgänglig magasinvolym.

Tabell 4.1 Sannolikhet att ett sommarregn (maj-september) helt "ryms" i ett grönt tak och ej kommer att ge någon avrinning. Två olika taktyper är studerade: ett tunnare (41 mm) mossasedumtak och ett tjockare (136 mm) sedumörtgrästak.

Sannolikhet att "rymma" hela regnet	Kiruna		Malmö	
	Mossa-Sedumtak	Sedum-Ört-Grästak	Mossa-Sedumtak	Sedum-Ört-Grästak
Alla sommarregn	73 %	84 %	87 %	99 %
Sommarregn > 6mm	28 %	68 %	48 %	94 %

Tabell 4.2 Relativ ackumulerad effekt på total avrinning från ett grönt tak jämfört med avrinning från en hårdgjord yta under sommar-månader (maj t.o.m. september). Två olika taktyper är studerade: ett tunnare (41 mm) mossasedumtak och ett tjockare (136 mm) sedumörtgrästak.

Effekt Sommar	Mossa-Sedumtak	Sedum-Ört-Grästak
Kiruna	57 %	81 %
Malmö	73 %	94 %

Den studerade effekten för de gröna taken med ett variabelt stort magasin som kan rymma nederbörd bör vara generell för alla åtgärder som inbegriper någon form av växtsubstrat som kan hålla vatten.

4.1.2 Fördröj och magasinera flödet

Fördröjning handlar om att hantera de flöden som uppstår men att minska avrinningshastigheten vilket leder till lägre flöden men kommer att ge ett längre avrinningsförlopp.

Fördröjning kan åstadkommas genom att:

- Minska avrinningshastigheten, t.ex. genom avledning i bevuxna diken istället för i släta rör.
- Låta flödet passera en "flödesbroms" utflödes hastighet < inflödes hastighet.
 - Flödesbromsen kan utgöras av en flödesregulator eller ett rör med begränsad flödeskapacitet.
 - Men flödesbromsen kan också utgöras av någon form av biofilter/regnbädd där infiltrationsförmågan är lägre än det dagvattenflöde som leds till åtgärden.

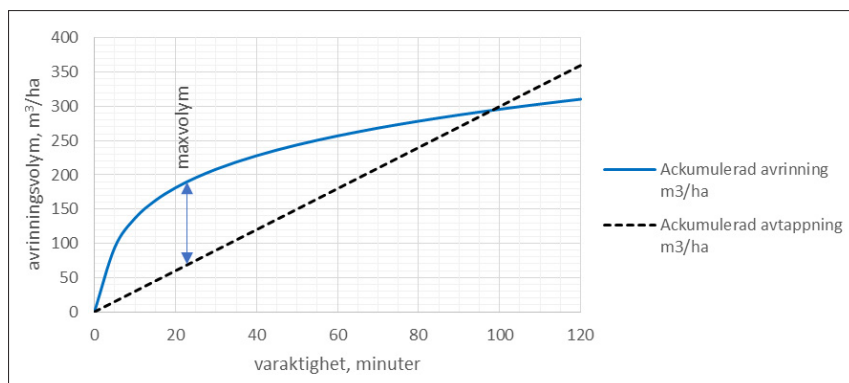
Eftersom vattnet inte försvinner vid fördröjning så leder fördröjning automatiskt till en magasinering – vatten kommer att lagras. Tillhörande magasins storlek bestämmer hur länge fördröjningen kan vara verksam. För när sedan magasinet är fullt kommer det att leda det till bräddning av de flöden som ej kan tas omhand av magasinet.

Om utflödet (q_{ut}) från en plats är mindre än inflödet (q_{in}) till en plats så kommer magasinering ske. Förändringen av volymen (dV) i ett magasin per tidsenhet (dt) beräknas enligt

$$dV = (q_{in} - q_{ut}) \cdot dt \quad \text{Ekv. 4-1}$$

Genom att dividera bägge sidor med anläggningens area kan magasinsformeln uttryckas i magasinsdjup, D , och hastigheter i längdenhet/tidsenhet, t.ex. i mm respektive i mm/h.

Nödvändiga magasinsstorlekar för ett visst beräknat flöde kan beräknas med den så kallade enveloppmetoden som bl.a. finns beskriven i P110 (Svenskt Vatten, 2016). Kortfattat utgår den ifrån att ackumulerad avrinningsvolym beräknas som en funktion av tid för en viss återkomsttid samtidigt som ackumulerad volym för avtappningsflödet från magasinet beräknas. Erforderlig maxvolym blir då den största skillnaden mellan avrinningsvolymen och avtappningsvolymen, se Figur 4.1.



Figur 4.1

Exempel: Bestämning av nödvändig fördröjningsvolym för ett magasin som ska klara ett tioårsregn under 120 minuter då avtappningskapaciteten är 50 l/s/ha.

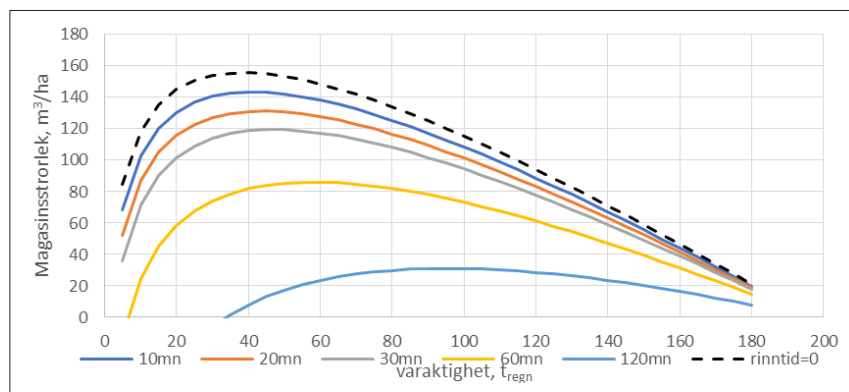
Regnintensitets – varaktighetssamband kan om ej bättre underlag finns hämtas från Dahlströms formel, se Ekv. 4-3 (Dahlström, 2010).

Volymberäkningen i Figur 4.1 tar inte hänsyn till rinntiden. Det finns också en formel för att beräkna magasinsbehovet där man tar hänsyn till rinntidens utjämnande effekt, se ekvation 9.1 (errata) i P110 (Svenskt Vatten, 2016). Sedan får man leta efter den varaktighet (t_{regn}) som ger den största volymen.

$$V = 0,06 \cdot (i_{\text{regn}} \cdot t_{\text{regn}} - K \cdot t_{\text{regn}} - K \cdot t_{\text{rinn}} + \frac{K^2 \cdot t_{\text{rinn}}}{i_{\text{regn}}}) \quad \text{Ekv. 4-2}$$

där: i – regnintensitet (l/s/ha), K – avtappningshastighet (l/s/ha), t_{regn} – regnvaraktighet (minuter), t_{rinn} – rinntid inom område (minuter). Avtappningshastigheten är summan av dräneringen av magasinet samt eventuell exfiltration till omgivande mark.

Ju längre rinntid desto mer fördröjning i själva rinnvägen och därmed desto mindre magasinsbehov. Se Figur 4.2 nedan.



Figur 4.2 Exempel på nödvändig magasinsstorlek med hänsyn tagen till rinntid. Här med en avtappning på 30 l/s/ha.

Volymerna för fördröjning av dagvatten kan uppnås genom olika typer av åtgärder. I P105 Hållbar dag- och dränvattenhantering (Svenskt Vatten, 2011) delas åtgärder upp i lokalt omhändertagande, fördröjning nära källan, trög avledning och samlad fördröjning. De tre senare sker på allmän platsmark.

4.1.3 Tidigare rekommendationer för omhändertagande av dagvatten

I publikationen P46 Lokalt omhändertagande av dagvatten – LOD (Svenskt Vatten, 1983) lades mycket betoning på vilka hydrologiska förutsättningar som finns att tillämpa LOD i olika områden. Till exempel betonas vikten av att endast inströmningsområden är möjliga för infiltration och att grundvattenytan bör ligga minst en halvmeter under markytan. Det lanserades där ett poängsystem avseende lämpligheten för LOD baserat på: Förhållande anläggningsyta – avvattnad yta; Jordtyp; Marklutning; Markanvändning. Publikationen underströk också att alla infiltrationsanläggningar

för eller senare kommer att sättas igen. Publikationen utvidgade begreppet LOD till att inte enbart omfatta lösningar där all nederbörd infiltrerades till att omfatta lösningar för tillfällig fördröjning av dagvatten i anslutning till påsläppspunkten. En avsevärd del av publikationen tillägnades också praktiskt, juridiskt, administrativa frågor kring LOD.

I P105 (Svenskt Vatten, 2011) som ersatte P46 kompletterades denna och vikten av en gemensam planering mellan olika förvaltningar för en implementering av en hållbar dag och dränvattenhantering betonades ytterligare. Publikationen delades upp i två delar där den första delen helt tillägnas planeringsprocessen från översiktsplan till detaljplan och den andra delen utvidgar de tekniska delarna kring projektering, dimensionering och växtval fram till drift och underhåll. Publikationen innehåller en verktygslåda av åtgärder men inga direkta anvisningar av vad som bör väljas i olika fall.

P110 (Svenskt Vatten, 2016) exemplifierar fördelarna med öppna lösningar för avledning i förhållande till kapacitet jämfört med ett rör. Det blir också mindre schakt. Dock kan det komma att krävas mer skötsel.

Vid implementering av hållbar dagvattenhantering uppkommer alltid frågor kring vem som äger marken. Är det en del av det allmänna eller är det privat mark. På vilket sätt kan VA-huvudmannen styra krav på fördröjning i detaljplan? Många kommuner har en generell skrivning i sin dagvattenstrategi att där det så är möjligt skall LOD tillämpas. Men hur ska det bli verklighet?

4.2 Åtgärders storlek och effekt

4.2.1 Mekanismer för trög avvattning

Olika åtgärder för trög avvattning använder sig av olika mekanismer för att uppnå sin effekt. Fyra olika mekanismer har identifierats i denna studie, se nedanstående figurer. Trögheten i avvattningen syftar på avtappning till ledningsnätet.

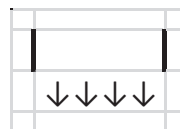
Mekanism 1 avser magasinering utan avtappning till ledningsnätet under regnförloppet. Det kan handla om en regntunna som fylls eller ett substrat som måste mättas till fältkapacitet innan utflöde till ledningsnätet uppstår. Mellan regn så tappas magasinen av genom t.ex. bevattning eller avdunstning.



Mekanism 2 avser magasin där avtappningen till ledningsnätet är lägre än inflödet. Utflödet är "strypt". Magasinet kan vara tomt eller fyllt med till exempel ett jordsubstrat. Strypningen av flödet kan utgöras av en flödesregulator eller ett rör med begränsad kapacitet eller också kan permeabiliteten för substratet utgöra flödesbromsen. Samtidig som utflödet stryps magasineras vatten. När magasinet är fullt sker bräddning till ledningsnätet.



Mekanism 3 avser exfiltration till omgivande mark. Då inflödet överstiger exfiltrationshastighet kommer magasinet att fyllas. När magasinet är fullt sker utflöde till ledningsnätet som reduceras av den pågående exfiltrationen.



Mekanism 4 avser trög avledning i till exempel diken eller på markytan. Den långsammare rinnhastigheten kommer att leda till magasinering i diket eller i skrovligheter på markytan.



Åtgärder för trög avvattning nyttjar i regel flera olika mekanismer. Som exempel kan nämnas ett biofilter som ofta har såväl mekanism 1 (mättnad av jordsubstrat), mekanism 2 (utjämning då substratets permeabilitet begränsar inflödet) och eventuellt mekanism 3 exfiltration till omgivande mark. I regel dräneras bädden också till ledningsnätet.

När magasinvolymerna är fulla kommer bräddning till ledningsnätet ske. Vid mekanism 1 och 2 så kommer flödet bli helt reducerat – utflöde blir lika stort som inflödet när magasinen väl är fulla. Mekanism 3 kommer när magasinet är fullt fortfarande att ha en viss reduktion av utflödet på grund av den exfiltration som fortfarande pågår. Mekanism 4 innebär oftast också att mekanism 3 aktiveras (exfiltration).

4.2.2 Mätetal för dimensionering och utvärdering

För att kunna jämföra olika åtgärder för trög avvattning på ett enhetligt sätt så behövs definierade mätetal. I faktarutan nedan tas de begrepp som används i rapporten upp och beskrivs.

Med noteringarna q för flöde, A för area, V för volym, D för djup (kan ses som en endimensionell volym) och i för regnintensitet, kan några samband ställas upp:

Åtgärders storlek kan uttryckas som ett åtgärdsdjup som kan jämföras med hur stort regndjup inom tillrinningsområdet som åtgärden kan hantera utan hänsyn till eventuellt utflöde:

$$D_{\text{åtgärd}} [\text{mm}] = V_{\text{magasin}} [\text{m}^3] / A_{\text{tillrinning}} [\text{m}^2] \cdot 100$$

När det handlar om filtrering och exfiltration är särskilt intressant att se till vilket förhållande tillrinningsyta har till anläggningsyta (observera att anläggningsytan ofta ingår i tillrinningsytan), en stor faktor medför att filtreringshastigheter blir begränsande. I denna rapport benämns detta som ytfaktor, f :

$$f = \frac{A_{\text{tillrinning}}}{A_{\text{åtgärd}}}$$

Åtgärders effekt kan uttryckas momentant (flödeseffekt), eller ackumulerat (volymeffekt):

$$\text{Momentan effekt (t) [\%]} = \left(1 - \frac{q_{\text{ut}}(t)}{q_{\text{in}}(t)} \right) \cdot 100$$

$$\text{Ackumulerad effekt (t) [\%]} = \left(1 - \int_0^T \frac{q_{\text{ut}}(t)}{q_{\text{in}}(t)} \cdot dt \right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{ut}}} \right) \cdot 100$$

Åtgärders effekt kan också uttryckas relativt ett referensflöde:

$$\text{Relativ flödeseffekt [\%]} = \left(1 - \frac{q_{\text{åtgärd}}(t)}{q_{\text{referens}}(t)} \right) \cdot 100$$

Det kan också vara relevant att studera maxflödeseffekten vid ett avrinningstillfälle även om maxflödet inte inträffar samtidigt för åtgärden som för nollalternativet.

$$\text{Maxflödeseffekt [\%]} = \left(1 - \frac{q_{\text{maxåtgärd}}(t)}{q_{\text{maxreferens}}(t)} \right) \cdot 100$$

Det kan också vara intressant att studera nyttjandegraden. Hur stor volym har hanterats av magasinet i förhållande till magasinets åtgärdsdjup? I V_{ut} ingår inte det flöde som exfiltrerar eller avdunstar:

$$N = \frac{V_{\text{in}} - V_{\text{ut}}}{V_{\text{magasin}}} \quad \text{eller} \quad N = \frac{D_{\text{in}} - D_{\text{ut}}}{D_{\text{magasin}}}$$

Man kan också prata om *implementeringsgrad*: Hur stora ytor har behandlats med åtgärden jämfört med totala reducerad area?

$$\text{Implementeringsgrad} = A_{\text{tillrinning}} / A_{\text{reducerad}}$$

Eller *verkningsgrad*: Hur stor effekt fås vid aktuellt regn/regnserie jämfört med implementeringsgrad?

$$\text{Verkningsgrad} = \text{Effekt} / \text{Implementeringsgrad}$$

4.3 Olika åtgärder för trög avvattnings

I följande avsnitt beskrivs de typer av åtgärder som testats i studien.

4.3.1 Regntunnor/regnmagasin

Beskrivning

Åtgärden regntunna innebär att ett taks stuprör kopplas till en regntunna med en viss volym. När tunnan är full så rinner den över brädden eller bräddar tillbaka till husets dagvattenledning. I regel anläggs tunnorna i syfte att använda regnvattnet för bevattning. Det finns en mängd storlekar från små på 100–400 l som är tänkta att hantera regnvattnet från stuprör för halva hustaket till större tankar på några kubik för att hantera hela taket eller större ytors avrinning.

Fördröjningsfunktion

En regntunna använder i regel endast mekanism 1 magasinering utan avtappning till ledningsnätet. Det går ofta att ordna så att en full vattentunna bräddar tillbaka till ledningsnätet men det är också vanligt att det rinner ut i trädgården istället. Storleken på magasinet varierar beroende på när det regnade sist och hur mycket vatten som har använts.

I ett kandidatarbete (Andersson, Brandén, Wallberg, & Werner, 2016) utreddes effekten utifrån tillämpande av regntunnor för att komma till bukt med översvämningar. Studien hittade stora effekter på andelen dagvatten som tas omhand av en 400 l tunna till ett 60m² tak med ett uttappningshål till gräsmatta på 5 mm.

Ofta har en regntunna endast en volym på ca 100–200 liter. Med en takyta på 60m² motsvarar detta endast 1½–3 mm regn innan tunnan är full.

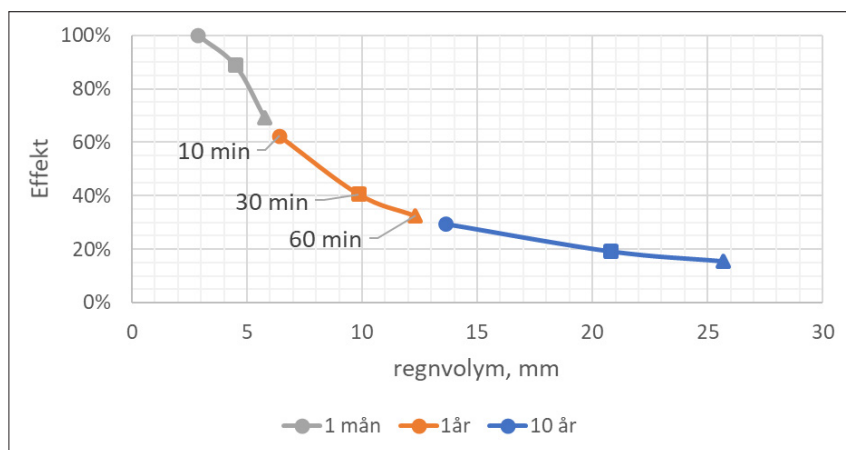
En regntunnas effekt beror av tre saker.

1. Vad som händer när tunnan är full – leds vattnet till ledningsnät eller ut på tomten?
2. Förhållandet mellan avvattnad takyta och tunnans volym vilket sätter åtgärdens storlek.
3. Avtappas tunnans volym mellan regntillfällen eller blir den ståendes full?

För att på ett bra sätt kunna bedöma en regntunnas kapacitet att ta hand om nederbörd kan man uttrycka den i hur många mm regn dess volym motsvarar enligt:

$$D_{\text{regntunna}} [\text{mm}] = \frac{\text{Volym}_{\text{regntunna}} [\text{l}]}{\text{Area}_{\text{tak}} [\text{m}^2]}$$

Eftersom det är ett rent volymförhållande så blir effekten större för kortvariga häftiga regn med mindre regnvolymer än mer långvariga regntillfällen då regntunnan fylls. I figur 4.3 visas den ackumulerade effekten för en regntunna med 200 liters volym till ett 50 m² tak (eller enligt formel ovan: 4 mm) vid olika regnvolymer och varaktigheter översatta till återkomsttid. Tunnan antas här vara tom när regnet startar.



Figur 4.3 Ackumulerad effekt för en tom regntunna med motsvarande 4 millimeters regnvolymer vid olika regnvolymer. Regnvolymerna är översatta till återkomsttid enligt Dahlström 2010 med markering av 10 (cirkel), 30 (kvadrat) och 60 (trekant) minuters varaktighet. Om tunnan ej är tom vid regnets början förskjuts kurvorna åt vänster med förregnets volym i mm.

Det har på senare tid kommit allt fler lösningar för till exempel sommarstugeområden, där vatten oftare kan vara en bristvara, med regnvattentankar för bevattningsändamål på mellan 3–5 kubikmeter. För en total takyta på 120 m² skulle det då istället motsvara 25–42 mm regn vilket motsvarar en hel månads regn under sommarperioden.

Bevattning sker sannolikt uteslutande under sommarperioden vilket i sin tur medför att tunnorna står fulla under höst och vår alternativt är frånkopplade för att inte frysa. Därför kan de antas endast ha effekt vid regn under sommaren som inträffar med föregående torrperioder.

Det finns en annan möjlighet att fördröja takvattnet – genom att använda platta tak som ett utjämningsmagasin – ett så kallat regntak, se avsnitt 4.3.3.

Kostnad

En regntunna är en billig åtgärd vid mindre storlekar där tunnan kan kopplas direkt till stuprör. För större tankar blir det däremot högre kostnader både för materialet och med hänsyn att den ofta behöver grävas ned i marken.

En mindre regnvattentunna upp till 250 liter kan fås för några hundralappar. Anslutningsdel från stuprör kostar ungefär lika mycket. En större tank däremot går på omkring 20–30 000 kr för 3 m³ + arbetskostnad för schakt och anslutning vilket handlar om 15–20 000 kr (von Scherling, Ungefärliga kostnader för privat anläggande i samband med eget husbygge, 2018).

4.3.2 Gröna tak

Beskrivning

Ett grönt tak består av växtlighet (ofta torktålig) ovanpå ett substrat med underliggande geotextil och dräneringsmatta, eventuellt med vattenhållande förmåga. Allt ligger ovanpå takets tätskikt. Substratdjupet kan variera stort beroende på vad som planteras, från tunna sedumtak till stora substratdjup vid t.ex. trädplanteringar. Ett grönt tak kan utformas på många olika sätt och tjockleken på taket såväl som takets lutning har inverkan på takets vattenhållande förmåga och fördröjning av flöden. Vidare kan vattenhållande mattor under växtsubstratet bidra till ytterligare effekt. I Gröna takhandboken (Gröna takhandboken, 2019) beskrivs olika uppbyggnader i detalj.

Fördröjningsfunktion

Ett grönt tak bidrar till trög avvattning på flera sätt. Dels bidrar det till ökade förluster genom vätning av växtlighet och jord (mekanism 1). Jordens porer måste mättas innan avrinning kan ske. När väl avrinning sker så kan filtreringen genom jorden bromsa flödet något (mekanism 2). Mellan regntillfällen sker avdunstning och transpiration från växter vilket därmed torkar jorden vilket påverkar hur stort magasinet för att ta hand om vatten är vid nästa regn.

Ett grönt tak består ur utjämningsynpunkt av två till tre möjliga magasin

- Ett ytligt magasin över växtytan (endast platta tak)
- Magasinering i jordvolym med varierande tjocklek
- Eventuell magasinering i fukthållande matta (10–20 mm) Överskottsvatten kan dräneras från mattan med 0,1–1,5 l/s vilket alla gånger överskrider regnintensiteter i nordiska förhållanden som räknas i tiotals mikrometer per sekund.

I Grönatakhandboken nämns bland annat att ett grönt tak med 100 mm överbyggnad kan väga runt 100 kg per kvadratmeter i torrt tillstånd, men ända upp till 130 kg när det är vattenmättat.

I publikationen Hållbar dag- och dränvattenhantering (Svenskt Vatten, 2011), refereras till en studie (Mentes, Raes et al. 2006) där gröna taks förmåga att minska avrinning av dagvatten under en längre tidsperiod där effekten i medeltal varierade mellan 75–50 %.

I regel kan det/kan det inte regna så häftigt att takets infiltrationskapacitet överskrids. En undersökning (Junker, 2013) visar dock på en viss begränsning vid 230 l/s/ha. I undersökningen genomfördes försök för att utvärdera effekten från gröna tak vid kraftig nederbörd (230 l/s/ha). Försöken gjordes på småskaliga modeller av olika uppbyggnad av gröna tak med varierande tjocklek. Taken vattenmättades ett dygn innan och sedan simulerades regn (230 l/s/ha) ovanpå taket och total avrinning efter 10 respektive 15 minuter jämfördes med ackumulerad regnmängd och en avrinningskoefficient utvärderades. Resultatet blev att för tak mellan 40–150 mm varierade avrinningskoefficienten för tio minuters varaktighet mellan 0,7 till 0,4 beroende på tjocklek och taklutning. Intressant var att för tunnare tak så erhöles i princip ingen fördröjningseffekt utan mer en ren förskjutning av avrinningsförloppet medan det för tjockare tak kunde observeras lägre flöden än de pålastade. Något olyckligt så avbröts försöken efter 15 minuter vilket medför att man ej får svar på frågor som hur stort ett helt utvecklat flöde är och hur stor total avrinningskoefficient är. Försöken visar inte heller hur stor mängd vatten som sedan rann av efter att regnet avslutats. I och med att taken dygnet innan hade vattenmättats så kan man gissa att det borde ha varit närmare 100 %. Test på två tunnare tak (50 respektive 100 mm) visar på att infiltrationsförmågan verkar kunna ha en gräns vid något under 230 l/s/ha eller 83 mm/h vilket syns då utflödet från taket stabiliserar sig på en avrinningshastighet något under denna.

Kostnad

Kostnaden för en anläggning av gröna tak varierar beroende på takets förutsättningar och önskemål. Tunnare gröna tak med planteringar såsom sedumtak eller sedum-ört tak med inslag av ängsvegetation beräknas kosta ungefär 300–600 kronor per kvadratmeter (SMHI, 2019). Kostnaden avser merkostnad för allt som ingår i den gröna uppbyggnaden (skyddstextilier, dräneringslagare, substrat och vegetation). (Malmberg, 2018).

4.3.3 Utjämningsmagasin

Beskrivning

Rena magasinsvolymer kan beredas på många olika sätt men kan många gånger innebära dyra betongkonstruktioner byggda enkom för att hantera avrinning vid häftiga regntillfällen.

Istället för att bygga utjämningsvolymer går det att utnyttja de volymer som redan finns till exempel i form av dämning på platta tak eller att tillåta en begränsad dämning av gator vid regn genom att begränsa inflödeskapaciteten för rännstensbrunnar i lågpunkter. Det finns leverantörer som saluför helhetslösningar för täta tak kombinerat med ett strypt utlopp som låter vatten dämna på taket. Lastmässigt är det ofta inga problem att dämna upp till 300 mm på ett tak vilket ju är betydligt mer än till exempel ett 100-årsregn per dygn. Utloppet dimensioneras efter avtappning av regnvolymer för en viss återkomsttid på en viss tid. Det kan handla om max någon deciliter per sekund. Om taket däms över en säkerhetsnivå träder en bräddningsfunktion in.

Överbelastade dagvattensystem kan också avlastas genom att inflödet från dagvattenbrunnar stryps, t.ex. genom anbringning av en plåt med perforeringar ovanpå gallerbetäckningen (Svenskt Vatten, 2011). Viktigt är att säkerställa att dämningarna som uppkommer på markytan inte orsakar problem. Exempelvis kan inflödeskapaciteten i brunnar i lågpunkten minskas samtidigt som bräddbrunnar med högre kapacitet anläggs på en nivå som hindrar skadlig dämning.

Fördröjningsfunktion

När utflödeshastigheten understiger inflödeshastigheten så kommer vatten ackumuleras i en fördröjningsvolym (mekanism 2), se t.ex. Figur 4.1. Förutsatt att inte den tillgängliga volymen på platsen överskrids så kommer detta att ge upphov till en lägre utflödeshastighet under längre tid än vad inflödet pågår. Totalt avrunnen volym kommer inte att reduceras.

Kostnad

Nedgrävda betongmagasin kan kosta många tusentals kronor per m³ medan smart utnyttjande av redan befintliga konstruktioner är betydligt billigare och handlar om merkostnaden för t.ex. andra betäckningar för rännstensbrunnar, förstärkning av ytskikt för platta tak för att klara att hålla vatten säkert m.m.

4.3.4 Regnbäddar

Beskrivning

En regnbädd är en anlagd växtbädd för fördröjning och rening och kan anordnas på olika sätt:

- med eller utan exfiltration
- med eller utan dränering till avloppsnät
- med eller utan utjämningsvolym

Det finns många begrepp som används. De kan ibland kallas biofilter och benämns ofta som "Rain Garden".

LTU har genomfört konduktivitetmätningar för 20 regnbäddar i södra Sverige mellan Stockholm och Malmö och kommit fram till att infiltrationskapaciteterna varierade mellan 30 och 900 mm/h. Det fanns två kluster i datamängden, ett omkring 100 mm/h (30–200), det andra omkring 600 mm/h. (Leonhardt, 2018).

Fördröjningsfunktion

Regnbäddar nyttjar i regel flera olika mekanismer för trög avvattnings. Gemensamt för alla är att de bidrar med en ökad vätningsförlust i form av mättnad av växtsubstratet innan avrinning/perkolation kan ske (mekanism 1). Regnbäddar tar i regel hand om avrinning från ett område som är många gånger större än själva bädden. Därav kan tillrinningen överskrida den kapacitet till infiltration som finns i bädden varvid fördröjning sker (mekanism 2). I regel finns en utjämningsvolym ovan bäddens yta som måste fyllas innan bräddning kan ske. Om möjlighet till exfiltration finns till omgivande mark (mekanism 3) så ökar avrinningsförlusterna ytterligare.

Kostnad

Enligt en kostnadsberäkning (Andersson & Åkerman, 2016) så kan enkla växtbäddar kosta omkring 70 kr/m² gatuyta. Men utformning av pilotanläggningar kan få det att kosta tiofalt mera (von Scherling, Utvärdering av kostnader för regnbädd vid HSB Living LAB, 2018)

4.3.5 Infiltrationsstråk

Beskrivning

Med åtgärden infiltrationsstråk avses små diken eller infiltrationspaket med infiltration som huvudsyfte. De är ofta fyllda med grovt stenmaterial för att kunna lagra vattnet för att det ska hinna infiltrera i marken.

De är ofta utsträckta och tar emot avrinningen direkt från anslutna ytor, t.ex. längs en väg, ofta. Ibland finns dränering till ledningsnätet eller t.ex. kupolbrunnar som samlar upp det vatten som ej hinner infiltrera.

Fördröjningsfunktion

Infiltrationsstråk exfiltrerar till omgivande mark (mekanism 3) och ger inget flöde till ledningsnätet så länge de inte är fulla och bräddar eller dräneras till ledningsnät. Detta innebär att så länge som infiltrationskapaciteten är tillräcklig så ger de samma effekt som en total bortkoppling av tillrinningsområdets ytor.

Kostnad

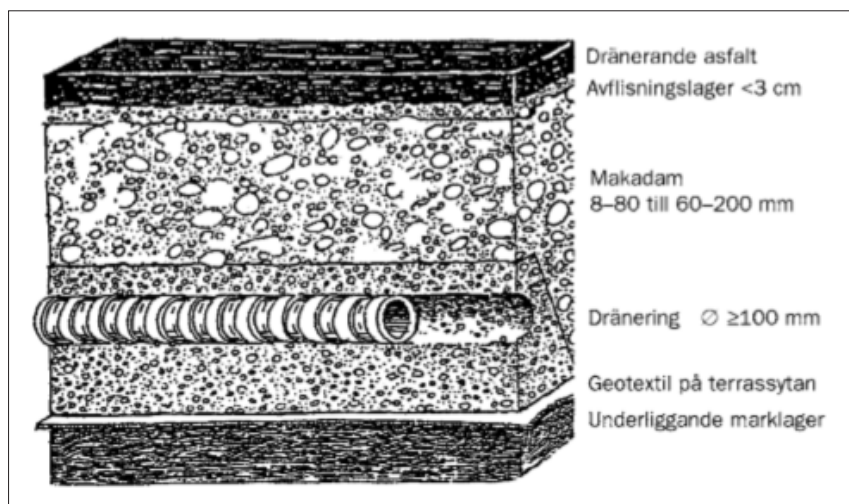
Då stråken är ganska lågbyggda så är de relativt billiga att anlägga. Kostnader tillkommer för justering av t.ex. kantsten för avrinning, bräddanordningar och eventuell plantering av växter.

4.3.6 Permeabla beläggningar

Beskrivning

Istället för täta beläggningar kan vattengenomsläppliga ytor konstrueras t.ex. genom hålsten, gräsarmering eller genom anläggning av permeabel asfalt. Med tiden kommer ytorna att sätta igen och behov finnas av att antingen ersätta infiltrationsmaterialet eller tvätta porerna med högtrycksspolning.

Permeabel asfalt anläggs på en vattengenomsläpplig överbyggnad som utförs av makadam (Svenskt Vatten, 2011). Vägkroppen dräneras genom ett enkelt dräneringssystem i vägkroppen bestående av dräneringsrör och infiltrationsbrunnar. Om den underliggande markens infiltrationskapacitet är god behövs inget dräneringssystem (Bäckström & Forsberg, 1998). Geotextilen uppges kunna sätta igen med tiden med minskad infiltrationsförmåga som följd.



Figur 4.4 Principskiss av en överbyggnad för permeabel asfalt. Referens Riksbyggen (1981) Utvecklingsrapport 13/81, Riksbyggen.

Vägkroppen är dränerad men man kan tänka sig att en viss andel av vatten kommer att perkolera nedåt i vägkroppen och exfiltrera till omgivande mark. I en studie i Luleå vid snösmältning (Bäckström & Forsberg, 1998) uppmättes endast ca 30–40 % av förväntad avrinningsvolym vilket indikerar att en hel del också exfiltrerar till omgivande mark.

Fördröjningsfunktion

Ytan har initialt en hög infiltrationsförmåga och kan hantera de flesta regn. Beroende på huruvida ytan är dränerad eller ej så exfiltrerar antingen allt som tagits hand om av ytan (mekanism 3) eller så blir det en fördelning mellan det som hinner exfiltrera och det som dräneras av.

Kostnad

Att anlägga permeabla ytor behöver inte utgöra någon extrakostnad utan kan till och med vara lönsamt då man slipper kostnader för en konventionell avvattning av vägytan med rännstensbrunnar.

4.3.7 Diken/Svackdiken

Beskrivning

Svackdiken avser grunda öppna avvattningsstråk med flacka slänter. De flacka slänterna, enligt principskisser med lutning 1:5 innebär att stråken blir breda och kan avleda stora mängder vatten redan vid låga vattennivåer. De föreslås ha dränerande material i botten och kan kompletteras med dräneringsledning. (Svenskt Vatten, 2011).

Fördröjningsfunktion

Svackdiken syftar till trög avledning (mekanism 4) samt ökad infiltration till mark (mekanism 3). Den tröga avledningen skapas av en högre råhet hos den ofta gräsbevuxna ytan vilket bygger en magasinering i form av ett större vattendjup på ytan som sedan rinner av. Det triangulära tvärsnittet har mångdubbelt högre kapacitet och volym än ett rör som skulle bygga lika högt (Svenskt Vatten, 2016).

Kostnader

Diken är ett vanligt sätt att avleda vatten. Beroende på utformning och tillgängliga ytor varierar kostnaderna mycket.

4.4 Hydrologiska begrepp

4.4.1 Regn: varaktighet, intensitet och återkomsttid

Centralt för hur stora dagvattenflöden som uppstår vid regn och vilken effekt en viss åtgärd får är hur det aktuella regnet ser ut. Centrala begrepp för att beskriva ett regn är dess intensitet, dess varaktighet, och dess återkomsttid.

Regnintensitet angivs vanligtvis i millimeter per timme eller i mer ingenjörsmässiga enheter som relaterar till hur stora regnflöden som genereras från en viss areal som till exempel enheten liter per sekund och hektar.

Varaktighet handlar om hur länge regnet varar och därmed hur stor total avrinningsvolym som regnet med en viss intensitet ger upphov till. Varaktigheten har en koppling till områdets storlek. Ju större området är ju desto längre måste det regna för att de maximala flödena för området ska uppstå.

Återkomsttid handlar om hur statistiskt vanligt det är att ett regn med en viss intensitet pågår under en viss varaktighet eller uttryckt som regnvolym per tid.

Statistiska studier kring intensitet och varaktighet har resulterat i samband för olika återkomstider som redovisas i en SVU-rapport (Dahlström, 2010).

$$i_A = 190 \cdot \sqrt[3]{\bar{A}} \cdot \frac{\ln t_r}{t_r^{0,98}} + 2 \quad \text{Ekv. 4-3}$$

där i_A – regnintensitet, l/s/ha, t_r – regnvaraktighet, minuter, $\bar{A}$ = återkomsttid, månader

Antalet millimeter det regnar brukar benämnas regnvolym trots att det är en längdenhet. Dock ger regnet upphov till vattenvolymer i kombination

med area. Till exempel motsvarar 1 millimeter regn 1 liter per kvadratmeter.

Nyligen har SMHI analyserat intensitets-varaktighetssamband för sina automatstationer vilket har gett såväl lägre värden (drygt 10% mindre) för varaktigheter upp till en timme som en regionindelning i sydväst, sydöst, mitt och norr. (Olsson, o.a., 2017). Ett nytt samband har därefter tagits fram under 2018 av Bengt Dahlström som är temperatur- och säsongsnederbördsberoende men i denna rapport används sambandet från 2010.

Tabell 4.3 visar regn med olika återkomsttid uttryckt i regnintensitet samt i total regnvolym för den aktuella återkomsttiden. Då mycket av resonemang kring trög avvattning handlar om infiltrationskapacitet och magasinering i förhållande till regnets storlek så är kanske tabell b där regnet uttrycks i samma enhet som infiltrationskapaciteter och tabell c där ackumulerad volym i mm anges av störst intresse.

Tabell 4.3 Regnintensiteter för olika återkomsttid och varaktighet. Intensiteter och regnvolym är beräknade enligt Dahlström 2010.

a)		regnintensitet (l/s/ha)			
Varaktighet\återkomsttid		30 år	10 år	1 år	1 mån
10 min		327	228	107	48
60 min		102	71	34	16
720 min		16	12	7	4
1 440 min		10	7	5	3
b)		regnintensitet (mm/h)			
Varaktighet\återkomsttid		30 år	10 år	1 år	1 mån
10 min		117,8	81,9	38,4	17,2
60 min		36,7	25,7	12,3	5,8
720 min		5,8	4,2	2,4	1,4
1 440 min		3,6	2,7	1,6	1,1
c)		total regnvolym (mm)			
Varaktighet\återkomsttid		30 år	10 år	1 år	1 mån
10 min		19,6	13,7	6,4	2,9
60 min		36,7	25,7	12,3	5,8
720 min		69,4	50,8	28,2	17,2
1 440 min		85,4	64,5	39,2	26,9

4.4.2 Vätning, lagring och avdunstning

Vätning och lagring

Inte varje regndroppe kommer att ta sig från nedslagsplatsen till ett vattendrag, naturligt eller t.ex. i form av ett rör. Initialt i ett regnförlopp blöts ytor upp och eventuella ojämnheter fylls upp (lagring) innan avrinning kan ske. Denna förlust brukar för hårdgjorda ytor uppskattas till någon millimeter. I modellverktyget används 0,6 mm för lagring och 0,05 mm för själva vätningen av hårdgjorda ytor. Trög avvattning innebär en högre andel mjuka ytor och därmed högre förluster. Mellan regntillfällena sker en upptorkning men i det fall regnen kommer tätt kan denna mikrolag-

ring redan vara utnyttjad vilket får det efterföljande regnet att snabbare påverka dagvattenflödena.

Avdunstning

Potentiell evapotranspiration, PET, är den maximalt möjliga evapotranspirationen. Denna får man om tillgången på vatten inte begränsar avdunstning, t.ex. vid avdunstning från en fri vattenyta. Den beror i själva verket på en mängd faktorer såsom temperatur, höjd över havet, luftfuktighet, vindhastighet, antal timmar per dag med solljus m.m. En vanlig formel är Penmans formel från 1948. I modellverktyget har detta förenklats genom att använda en enkel tidsserie med månadsmedelvärden (Eriksson, 1981), se avsnitt 5.5.4. Evapotranspirationen är den mekanism som torkar upp åtgårderna mellan regntillfällena utöver själva avvattningen.

4.4.3 Infiltration i mark

Markens hydrauliska konduktivitet har stor betydelse för hur mycket vatten som kan tas om hand. Infiltration till mark (exfiltration) brukar ofta uttryckas med Hortons formel:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt}$$

där f_0 betecknar den initiala hastigheten och f_c den slutliga vilket också brukar kallas för mättad konduktivitet K_s . Det finns gott om studier och sammanställning av den mättade konduktiviteten men det är svårt att hitta studier på den initiala konduktiviteten. En sammanställning (Pramsten, Inventering och analys av kunskapsunderlag avseende infiltration på grönytor. Bilaga F till rapport 15SV737, 2015) som även är baserad på egna fältförsök belyser dock hur stor skillnaden kan vara mellan mättad konduktivitet och den initiala infiltrationskapaciteten, se Tabell 4.4 nedan.

Tabell 4.4 Sammanställning (Pramsten 2015) av studier på initiala och slutliga infiltrationshastigheter.

Undersökning	Initial infiltrationshastighet, K_0 låg	Initial infiltrationshastighet, K_0 medel	Initial infiltrationshastighet, K_0 hög	Slutlig infiltrationshastighet, K_{sat} låg	Slutlig infiltrationshastighet, K_{sat} medel	Slutlig infiltrationshastighet, K_{sat} hög
Pramsten 2015 (Gräsytor i Ångby)	500	1 100	1 500	-	200	600
Engdal 1975 (Åkermark)	15,0	300	1 000	10,0	100	200
Pit 1999 (kompakterade torra urbana grönytor)	65,0	125	160	10,0	15,0	20,0

Många åtgärder för hållbar dagvattenhantering inbegriper infiltration i mark. Denna är kraftigt varierande beroende på marktyp och aktuell vattenmättnad. Vissa jordarter är väldigt täta, till exempel lera, och tillåter i princip ingen infiltration för korta tidsperioder med intensiv nederbörd medan grövre jordarter har stor kapacitet att infiltrera vatten, se Tabell 4.5 nedan.

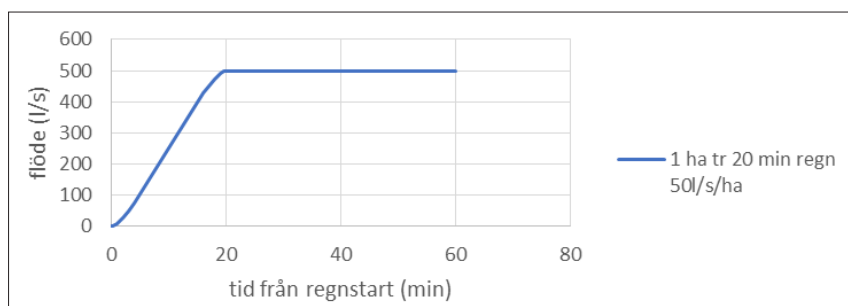
Tabell 4.5 Infiltrationshastigheter i olika jordtyper och markering av genomsläpplighetsklass enligt produktbeskrivning för SGU:s tjänst genomsläpplighet (SGU, 2018). Blåskuggade fält avser de hastigheter som här bedöms ha betydelse för timmes-, dygns- och veckonederbörd.

mm/s	mm/h	mm/24h	mm/7d	Intervall för jordart						Genomsläpplighet enligt SGU
1 000	3,60E+06	8,64E+07	6,05E+08							Hög
100	3,60E+05	8,64E+06	6,05E+07		Fingrus					Hög-medel
10	3,60E+04	8,64E+05	6,05E+06			Grovsand				Medel
1	3 600	8,64E+04	6,05E+05				Mellan-sand			
0,1	360	8 640	6,05E+04					Finsand		
0,01	36	864	6 048						Grovsilt	
0,001	3,6	86	605	Grusig morän						Mellan-/finsilt
0,0001	0,36	9	60		Sandig morän					
0,00001	0,036	0,86	6			Siltig morän				
0,000001	0,0036	0,086	0,60				Lerig morän			
0,0000001	3,6E-04	0,0086	0,060					Morän-lera		Lera
0,00000001	3,6E-05	8,6E-04	0,0060							

4.4.4 Ytavrinning

När markytan är mättad eller jordens porvolym fyllts upp alternativt att regnintensiteten överstiger infiltrationsförmågan så kommer det resultera i ytavrinning. Om det avrunna flödet studeras på en plats så har förhållandet mellan rinntid och regnets varaktighet betydelse för flödets maximala storlek. Rinntiden kallas också ofta koncentrationstid.

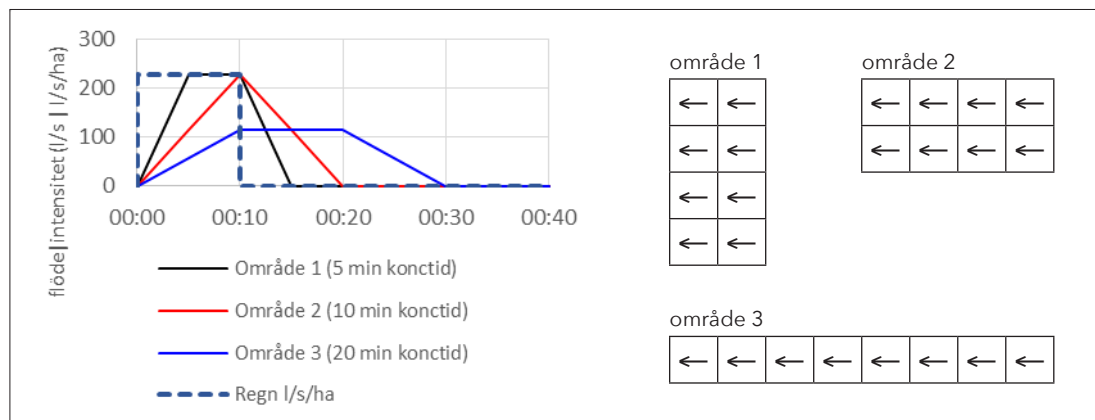
Till exempel ifall det regnar på ett område av 10 ha med en konstant regnintensitet på 50 l/s/ha och det tar 20 minuter för en vattendroppe längst bort i området att rinna till utloppet för området (områdets koncentrationstid) så kommer flödet i utloppspunkten att öka från 0 l/s vid tidpunkten 0 minuter till 500 l/s vid tidpunkten 20 minuter och därefter kommer flödet vara konstant, se Figur 4.5. Skulle regnet upphöra innan det gått 20 minuter så skulle flödet inte bli lika kraftigt från området.



Figur 4.5 Exempel på ett flöde från ett område på 10 hektar med 20 minuters koncentrationstid i det fiktiva fallet där regnintensiteten är konstant med 50 l/s/ha

Regn på områden som har samma areal men med olika koncentrationstider kommer ge upphov till olika stora flöden även fast avrinningsvolymen blir den samma, se Figur 4.6. Trög avvattning kan fördröja och förlänga

koncentrationstiden vilket kan ge upphov till lägre flödestoppar även om inte total avrinningsvolym reduceras.



Figur 4.6 Illustration av koncentrationstidens effekt på flöde då rinntiden är olika. Det regnar med intensiteten 228 l/s/ha i 10 minuter på tre områden med samma reducerade area.

Område 1 har en koncentrationstid på 5 minuter och område 2 har en koncentrationstid på 10 minuter och område 3 har en koncentrationstid på 20 minuter. 1) När regnet pågår så ökar flödet från områdena konstant i upp till sin koncentrationstid. Det innebär att fullt flöde uppnås för område 1 efter 5 minuter, område 2 efter 10 minuter och område 3 uppnår aldrig fullt flöde. 2) när regnet upphör så avklingar flödet lika snabbt som det startade för område 1 och 2 medan det för område 3 kommer vara konstant tills även det vatten som under de första tio minuterna inte "hann fram" har runnit av och därefter 3) avklingar flödet.

Samtliga områden genererar lika stor avrinningsvolym. Ovan visas också områdena schematiskt där flödesriktningen anges med pilar. Varje cell innebär 0,125 ha och 2½ minuters rinntid.

Hur lång koncentrationstiden är beror av olika faktorer som områdets storlek, områdets lutning, hydraulisk råhet för mark och ledningsnät. Även regnets intensitet påverkar eftersom det påverkar hur snabbt nivåer byggs upp på ytan vilket styr hur snabbt det kan rinna av. Om det finns magasin i området så ökar koncentrationstiden. Trög avvattnings innebär såväl att öka vätningsförluster som att öka koncentrationstiden för ett område vilket ger lägre förlängda flödestoppar.

Det finns olika metoder, mer eller mindre komplexa, att beräkna hur avrinning uppstår från nederbörden

Den så kallade rationella metoden, se t.ex. P110 (Svenskt Vatten, 2016), är en beräkningsmetod för dimensionerande maxflöde. Flödet, q , kan beräknas genom:

$$q = \varphi \cdot A \cdot i(\text{tr}) \quad \text{Ekv. 4-4}$$

där φ avrinningskoefficient (ratio) och $i(\text{tr})$ är den dimensionerande regnintensiteten beroende av områdets koncentrationstid, tr och A är områdets area.

Tid-area-metoden, se t.ex. P110 (Svenskt Vatten, 2016), är en förenklad metod där områden antas ha en konstant koncentrationstid vilket i sin tur vilar på att avrinningshastigheten är konstant. Deltagande ytor beräknas genom att multiplicera områdets storlek med dess avrinningskoefficient. Efter avdrag för vätnings- och lagringsförluster beräknas flödesutvecklingen baserat på koncentrationstid och en avrinningskurva. I modellverktyget kallas denna metod, metod A.

Avrinningens flödesutveckling kan också beräknas med hjälp av Mannings formel. I modellverktyget benämns metoden som metod B (Kinematisk vågmetod). Regn orsakar att en vattennivå byggs upp på en yta. Avrinning kan därefter beräknas med Mannings formel:

$$q = \sqrt{s} \cdot M \cdot A_v \cdot R^{2/3} = \sqrt{\frac{h_f}{2}} \cdot M \cdot A_v \cdot R^{2/3} \quad \text{Ekv. 4-5}$$

där s = lutning, h_f = höjdförlust (se avsnitt 5.7.3), L = längd, v = rinnhastighet, M = Mannings tal, R hydraulisk radie och A_v = våt tvärsnittsarea.

4.5 Simulering av åtgärder för trög avvattning med modellverktyg

USA:s naturvårdsverk, Environment Protection Agency, har tagit fram ett verktyg för att bedöma effekten av olika åtgärder för trög avvattning: National Storm Water Calculator (EPA, 2018). Verktyget beräknar endast förändrad total avrinning till följd av tillämpning av olika åtgärder och inga flöden.

Ett liknande verktyg finns inbyggt i en programvara för hydraulisk modellering Mike Urban, (DHI, 2017), hädanefter kallat "modellverktyget", vilket då också möjliggör beräkning av flöden i ledningar. Modellverktyget innehåller sju olika typer av åtgärder för trög avvattning som går under den amerikanska benämningen LID (Low Impact Development) som kan läggas till ett avrinningsområde. Åtgärderna utgörs av:

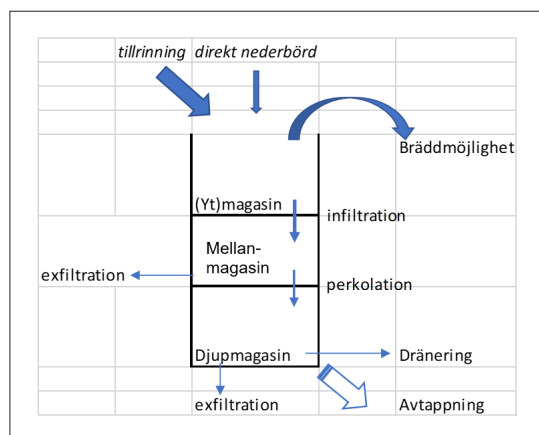
- Bio Retention Cells (regnbädd/biofilter med dränering till avloppsnät)
- Permeabel beläggning
- Infiltrationsstråk
- Regntunnor
- Svackdiken
- Rain Garden (Regnbädd utan dränering till avloppsnät)
- Gröna tak

Modellverktyget skiljer sig från Storm Water Calculator genom att fler inställningar är möjliga liksom att överskottsflödet från åtgärderna för trög avvattning också kan simuleras i rörledningsnät. Det finns också möjlighet att använda olika permeabla ytor med varierande råhetstal för avrinningsberäkningen. Det går också att simulera åtgärder med hjälp av ledningsnätsobjekt som byggs in i ledningsnätetsmodellen.

Enligt uppdelningen i P105 (Svenskt Vatten, 2011) skulle åtgärderna i modellverktyget hamna i följande indelning här med modifieringen att lokalt omhändertagande här definieras som hantering av enbart det regnvatten som faller på själva ytan för åtgärden. Även utjämningsmagasin och damm har lagts till i listan.

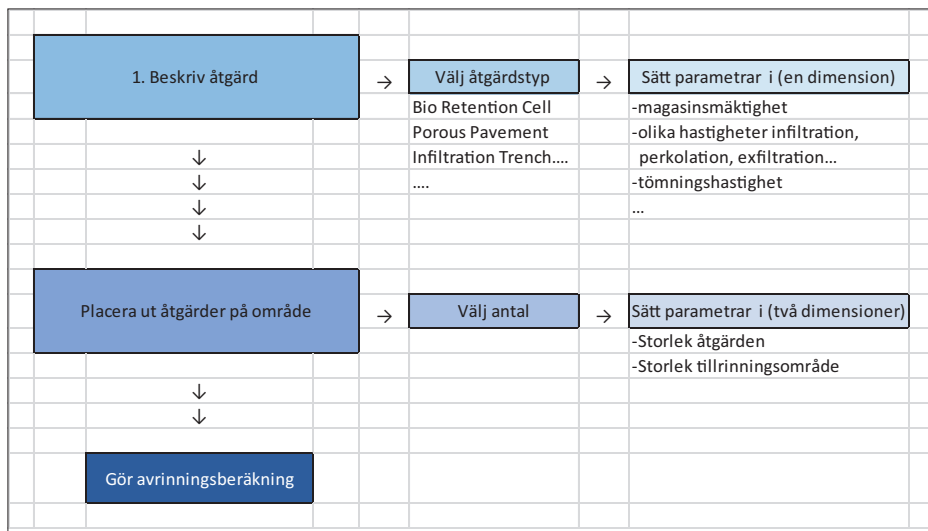
- Lokalt omhändertagande
 - Gröna tak
 - Permeabel asfalt (sorterat under "nära källan" i P105)
- Fördröjning nära källan
 - Regntunnor
 - Bio Retention Cells (biofilter)
 - Rain Gardens (regnträdgårdar)
- Trög avledning
 - Infiltrationsstråk
 - Svackdiken
- Samlad fördröjning
 - Utjämningsmagasin
 - Utjämningsdamm

I modellverktyget beskrivs de olika fördröjningsåtgärderna som olika kombinationer av kopplade magasin vilket beskrivs i Figur 4.7 nedan. Olika åtgärder har olika antal magasin och olika möjliga flöden – till exempel så har ett grönt tak ingen möjlighet till exfiltration och ett infiltrationsstråk ingen begränsande infiltrationshastighet in i åtgärden utan den förutsätts vara tillräcklig.



Figur 4.7 Konceptuell bild av hur en fördröjningsåtgärd implementeras i modellverktyget. Olika åtgärder skiljer sig åt avseende vilka möjliga flöden som är möjliga och vilka magasin som finns.

Uppbyggnad av åtgärder för trög avvattning görs i modellverktyget i två steg. I det första steget definieras åtgärdernas egenskaper och geometrier i en dimension. I det andra steget kopplas valfritt antal åtgärder till respektive avrinningsområde. För varje koppling anges åtgärdens area och den anslutna yta som den behandlar, se Figur 4.8.



Figur 4.8 Implementering av en åtgärd i modellverktyget sker i två steg.

En anläggnings fördröjningseffekt är förstås helt beroende av hur den är dimensionerad i förhållande till vilket regn som studeras. Samtidigt har olika åtgärder olika karakteristika. Det är därför viktigt vid jämförelse mellan olika åtgärder att utformningen görs typisk och har samma dimensioneringskriterier som grund.

Dimensioneringsmässiga storheter:

- Utjämningsvolym – volym vid kortvariga intensiva regn.
- Total volym i förhållande till längre regn

Materialegenskaper:

- Infiltrations-, perkolationshastigheter
- Fältkapacitet
- Porositet
- Vissningsgrad

Yttre faktorer:

- Infiltrationskapacitet till omgivande mark

Vissa aspekter med hänsyn till utförande:

- Beläggning asfalt, vägunderbyggnad
- Tjocklek för t.ex. gröna tak
- Planteringsdjup i anlagda regnbäddar

Åtgärdsskiljande egenskaper:

- Finns det dränering av åtgärd eller infiltrerar den till mark eller både och?
- Finns det tillrinning (t.ex. från tak, väg...)?
- Finns alla olika typer av magasin enligt Figur 4.7?
- Kan det "brädda" direkt till ledningsnät?

Skötsel och användning:

- Mängden vatten i en åtgärd för trög avvattning kan variera till exempel på grund av bevattning av växtbäddar eller på grund av vattenanvänd-

ning från regntunnor. I modellverktyget går det att anpassa initial vattenmättnad för åtgärderna eller att ange en tömningstid för regntunnor.

En annan skillnad mellan olika anläggningstyper är hur pass utvecklade de är som produkter och ifall det finns riktlinjer för anläggande. För till exempel gröna tak finns det många som levererar färdiga lösningar och det finns riktlinjer för anläggning. Det finns standard för hur en enhetsunderbyggnad för permeabel asfalt ska se ut. Regntunnor finns i en mängd olika fabrikat och volymer. Men när det gäller platsbyggda regnbäddar, lokal infiltration och krossdiken finns det en större variation i utformningen och det är dessutom beroende av lokala förutsättningar för exfiltration till omkringliggande mark.

Värden på de parametrar som behövs för att beskriva olika åtgärder i modellverktyget kan vara svåra att få tag i. Uppgifter på den fysiska utformningens dimensioner är lätta att få tag i medan hydrauliska egenskaper som infiltrationskapacitet i olika material och exfiltration till omgivande mark är svårare att hitta säkra värden på. Mycket av effekterna hos åtgärder kommer att vara beroende av den aktuella hydrologiska historiken vid regntillfället. Modellverktyget har funktioner för att simulera evapotranspiration och uttorkning av substratet i magasinet mellan regntillfällen. Men infiltrationskapaciteten in i respektive åtgärd är statisk i de åtgärder som finns i verktyget. För permeabla ytor som beskrivs av modell B (se avsnitt 0) finns ett "minne" i form av en möjlighet att ansätta en återhämningstid.

I slutändan handlar det dock om några få saker: hur stort är inflödet; hur strypt är utflödet; kan det exfiltrera; och slutligen - hur stort är magasinet? Förhållandet mellan anläggningsarea och tillrinningsarea avgör ifall infiltrationsförmågan är tillräcklig eller om det kommer att bromsa flödet. Förhållandet mellan anläggningsvolym och tillrinningsarea avgör magasinets storlek.

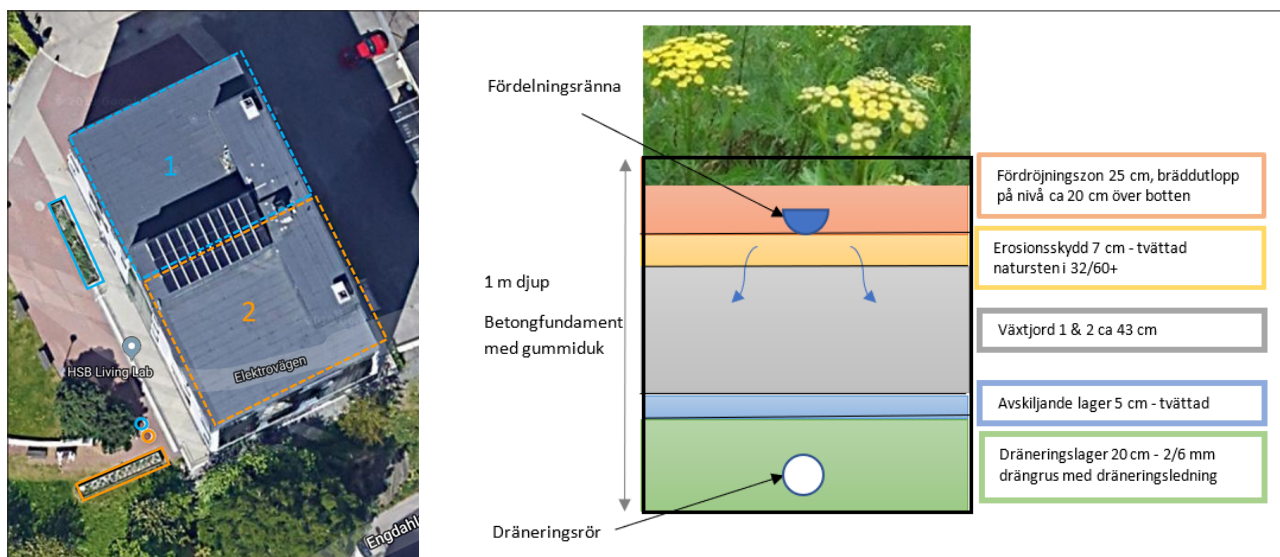
I bilaga 1 visas de inställningar som har gjorts i modellverktyget i detalj.

4.6 Ett exempel på regnbäddar från verkligheten

Vid HSB Living Lab i Göteborg så har två regnbäddar anlagts i ett testbäddsprojekt som finansieras av Vinnova (Sörelius, von Scherling, & Karlsson, 2020).

Bäddarna har utformats som två stycken 1x1x8 m planteringslådor med en dränering i botten och ett bräddavlopp 200 mm ovanför planteringsytan. Jordsubstratet som fyller bäddarna är ca 500 mm djup. Till respektive bädd är ett tak anslutet på ca 240 m². Regn mäts på taket och flödet från respektive bädd mäts i ett mätöverfall.

Med hjälp av bäddarnas utformning och dimensionering kan olika mätetal tas fram i enlighet med avsnitt 4.2.2. Förhållandet mellan takets area och bäddarnas area ger en ytfaktor på ca 30. Beräkning av olika åtgärdsdjup för bäddarna blir ca 200 mm/30 ≈ 7 mm i utjämningsvolym samt med en antagen fältkapacitet på 0,5 och vissningsgräns på 0,15 ett maximalt vät-



Figur 4.9 Regnbäddar vid HSB Living Lab i Göteborg.

ningsmagasin på $500 \text{ mm} \cdot (0,5 - 0,15) / 30 \approx 6 \text{ mm}$. Det genomfördes mätningar av den mättade hydrauliska konduktiviteten för bäddarna som gav ett värde på 725 mm/h i medeltal. Om man räknar om värdet till en motsvarande regnintensitet på taket med hjälp av ytfaktorn så blir det ca 24 mm/h vilket innebär att man inte kan räkna med någon "flödesbroms" för vanliga regn. Vad man däremot skulle förvänta sig att se är omfattande vätningsförluster vid många regntillfällen.

Vid utvärdering av regntillfällen och avrinning från bäddarna ser man inga stora vätningsförluster alls. Det handlar om ca $50\text{--}200 \text{ l}$ /per regntillfälle vilket skulle motsvara mindre än 1 mm på taket. Utöver vätningsförlusten så observeras ingen reduktion i flödet från bäddarna under de $2\frac{1}{2}$ år som mätningarna pågått förutom vid det häftigaste regnet under mätperioden då en kraftig reduktion av maximalt flöde kan observeras.

Avsaknaden av vätningsförlusten är något förbryllande. Den förlust som uppmäts motsvarar enbart vad som kunde förväntas utifrån vätning av takytorna. Vatten verkar därmed kunna ta sig genom bäddarna utan större förluster. En hypotes är att regnvattnet vid de flesta regntillfällen inte fördelar sig jämnt över regnbäddarna utan rinner ned nära fördelningsrännan. Därmed behöver inte hela substratet blötas upp innan det kan dräneras ut och vatten kan röra sig snabbt ned vertikalt genom bädden. Modellverktygets beskrivning som förutsätter ett "kolvflöde" genom olika åtgärder där hela substratet måste mättas till fältkapacitet innan avrinning kanske inte alltid stämmer med verkligheten. Det kan också vara så att regnbädden behåller en ganska konstant hög vattenhalt som snabbt resulterar i avrinning vid regn vilket inte stämmer med hur ett modellverktyg skulle implementera bädden där upptorkning av substratet sker med en konstant hastighet oavsett substratets tjocklek. Det är också oklart vilken skötsel i form av bevattning som förekommit under mätperioden.

5 Metod

5.1 Genomförande av studie

Inledningsvis hölls möten för att identifiera lämpliga områden för studien och definiera frågeställningar som projektet ska fokusera på.

Slutligen valdes 3–4 områden för fallstudier. Viktiga kriterier för val var översvämningsdrabbat område, problem med bräddningar, minskning av mängden tillskottsvatten, dagvatten till lokal recipient.

Modellsimuleringar beslutades genomföras för dimensionerande regn upp till 30 års återkomsttid såväl korta och intensiva som utdragna lågintensiva regn. Såväl typregn som verkliga tidserier skulle användas.

Åtgärder att studera föreslogs till: växtbäddar, gröna tak, svackdiken och regntunnor. Under arbetet kom sen fler åtgärder att läggas till listan.

I modellverktyget finns förinställda parametrar för olika åtgärder. Dessa saknar referenser och ett arbete genomfördes för att hitta rimliga värden på dessa parametrar. Bl.a. har data från testbädden vid HSB Living Lab använts (avsnitt 4.6), liksom erfarenheter från Vinnovaprojektet Klimatsäkrad stad (Schouenborg, 2020).

Sedan följde ett arbete för att bygga upp åtgärder i modellverktyget, dels själva åtgärderna och dels ett arbete för att översätta modellparametrar från de levererade dagvattenmodellerna till parametrar som kan användas i modellverktyget för att kunna simulera trög avvattnings.

Modellsimuleringar genomfördes i två steg. Först gjordes en teoretisk studie av hur de i verktyget uppbyggda åtgärder fungerade innan dessa testades i dagvattenmodeller från Karlstad och Göteborg. Den teoretiska studien syftade också till att ta fram mått för att utvärdera effekten.

Därefter följde resultatutvärdering och analys.

5.2 Modellverktyg

För modellsimuleringar har Mike Urban 2017 (servicepack 2) använts med dess inbyggda funktioner för trög avvattnings som går under beteckningen LID ("Low Impact Development"). Även beräkning med olika permeabla ytor har genomförts. Den hydrologiska och hydrauliska beräkningen av flöden går i flera steg i modellverktyget och kan lite förenklat beskrivas som:

1. Beräkning av nederbördsmängd på den del av området som leds till åtgärd och den del av området som inte leds till åtgärd
2. För åtgärden beräknas flöden för nederbörden. Det som exfiltrerar försvinner från vidare beräkningar. Det som dräneras till ledningsnät och det som bräddar går vidare till avrinningsberäkningen på ytan.

3. Avrinningsberäkning sker för området för flödet som behandlats av en åtgärd och för flödet som inte behandlats av en åtgärd. Beräkningen baseras i denna studie på Manningsformel.
4. Avrinningsberäkningen används som indata för beräkningen av flöden i ledningar.

Utvärdering och extraktion av resultat har huvudsakligen genomförts med Microsoft Excel.

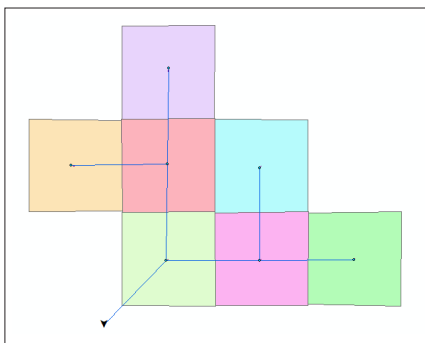
5.3 Dagvattenmodeller använda i studien

Fyra olika modeller har använts för att genomföra studien.

- Teoretisk modell uppbyggd av områden på vardera 1 hektar där varje område tilldelas en åtgärdstyp för trög avvattning som tillämpas till 100%.
- Skattkärr: dagvattenmodell för ett villaområde.
- Gräsdalen: dagvattenmodell för ett handels- och industriområde.
- Örgryte: modell över dag och spillvattennät (kombinerat ledningsnät).

Teoretisk modell

Modellen består av ett antal områden som vardera är 1 hektar stort med en avrinningskoefficient på 100 %. Hela ytan för varje område leds till en åtgärd för trög avvattning i modellen.

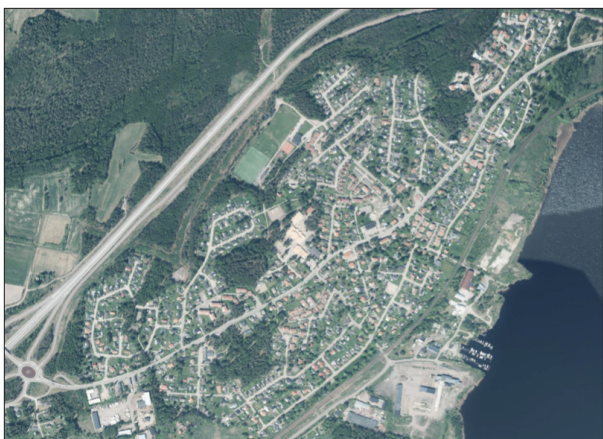


Figur 5.1

Teoretisk modell. Varje område är 1 hektar och leds i sin helhet till en åtgärd för trög avvattning.

Skattkärr, Karlstad

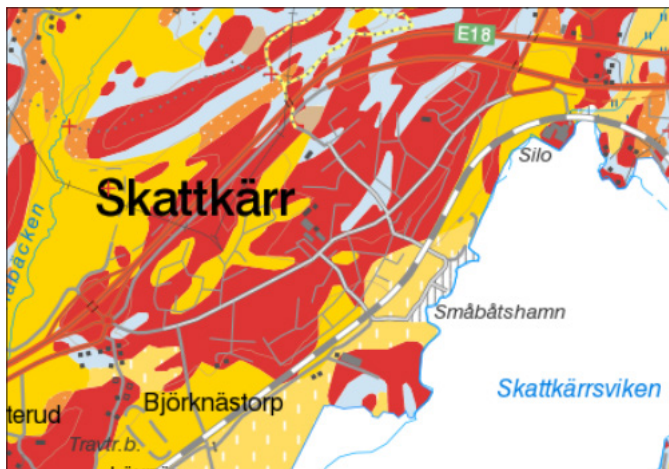
Skattkärr är ett villaområde som ligger vid Vänern nordost om Karlstad.



Figur 5.2

Flygfoto över Skattkärr (med tillstånd av Karlstad kommun, 2020)

Området sluttar mot Vänern i sydöst men marken har inte särskilt goda förutsättningar för infiltration då den enligt SGU:s jordartskarta består av huvudsakligen urberg och lera med inslag av morän. Leran ligger dessutom utbredd längs ett av ledningsstråken.



Figur 5.3 Jordartskarta över Skattkärr från SGU (<https://apps.sgu.se/kartvisare/>).

Området är i modellen ca 96 ha stort med en avrinningskoefficient på ca 20 %

Gräsdalen

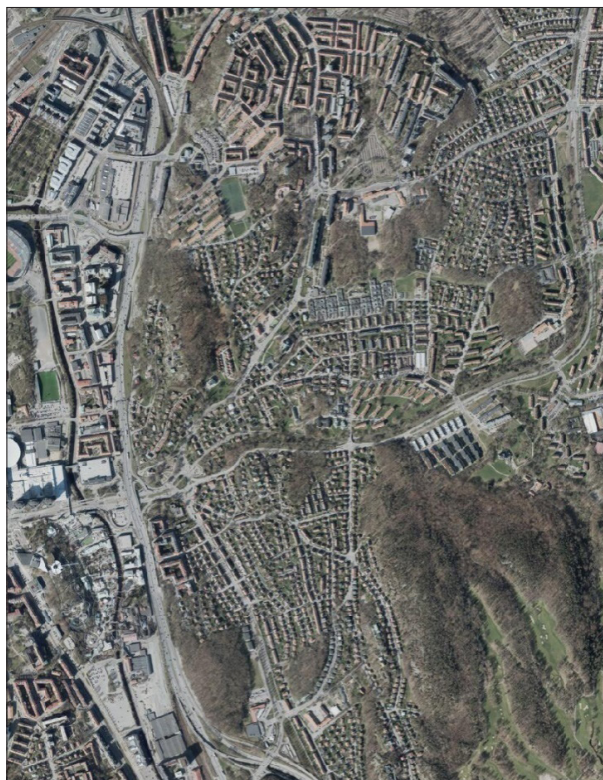
Gräsdalen är ett handels-/industriområde i Karlstad med stora byggnader och parkeringsytor med låg andel grönytor.

Området har problem med marköversvämningar inom området och erosionsproblem nedströms ledningssystemet samt dålig kapacitet i befintligt ledningssystem.



Figur 5.4
Gräsdalen i Karlstad
(med tillstånd av Karlstad kommun, 2020)

Området är i modellen ca 33 ha stort med en avrinningskoefficient på ca 51%



Figur 5.5
Örgryte, Göteborg
(Kretslopp och Vat-
ten, Göteborgs Stad
2019)

Örgryte omfattar ett stort område med såväl villa- som flerfamiljshusbebyggelse. Området är i modellen ca 574 ha stort med en avrinningskoefficient på ca 26 %

5.4 Försöksupplägg

Studien har genomförts i två huvudsteg.

Det första steget innefattar utformning, dimensionering samt test av de i modellverket implementerade åtgärdernas prestanda. Se avsnitt 5.6.

I det andra steget testades åtgärderna från det första steget i hydrauliska ledningsnättsmodeller från Karlstad och Göteborg. Se avsnitt 5.7.

5.5 Generella inställningar och randvillkor

För att göra de olika försöken jämförbara så har många parametrar och indata inte tillåts variera fritt utan har valts från en uppsättning standardiserade värden.

5.5.1 Olika substrats perkolförståga

Av stor betydelse för volymsbehovet är olika infiltrations-, perkolförståga- och exfiltrationshastigheter. Ju större hastigheter ju längre ”räcker” magasinvolymen. Dessvärre är denna information svår att få tag i och varierar mellan olika material.

För såväl regnbäddar och gröna tak behövs två hastigheter anges: den ena för att ange med vilken hastighet som vatten kan infiltrera i magasinet och en med vilken hastighet det kan lämna magasinet (i praktiken initial och slutlig konduktivitet).

Här får perkolationförmågan beteckna hastigheten för vattnet att ta sig igenom åtgärdens substrat. Modelltekniskt är det två hastigheter som styr detta. Typiskt i modellverktyget ligger defaultvärden på 200 mm/h för att infiltrera i en jordvolym och 10 mm/h för att läcka från denna. Detta är mycket lågt jämfört med undersökningar. Defaultvärden har justerats för att spegla undersökningar för regnbäddar (avsnitt 4.3.4) och för gröna tak (avsnitt 4.3.2).

Regnbäddarna delades in i två klasser som speglar de försök som genomförts en där infiltrationskapaciteten är 1 000 mm/h och läckagehastigheten är 600 mm/h och ett trögare material med infiltrationskapacitet 600 och läckagehastighet 100.

De dokumenterade studierna kring gröna tak (avsnitt 4.3.2) visar att det knappast är problem för vatten att hinna infiltrera men att det med ökad tjocklek på substratet möjligen kan bromsas genom materialet vid regnintensiteter bortåt 230 l/s/ha (ca 80 mm/h). Olika uppsättningar testades och slutligen valdes 60 mm/h som perkolationshastighet för det gröna taket.

5.5.2 Omgivande marks förmåga till infiltration

Det finns två sätt som omgivande marks förmåga att ta emot vatten (exfiltration) kan implementeras i modellverktyget:

1. Dynamisk med Hortons formel, se avsnitt 4.4.3 (i de fall permeabla ytor väljs)
2. Statisk med en konstant exfiltrationshastighet i mm/h som ansätts i de fördefinierade funktionerna för åtgärder

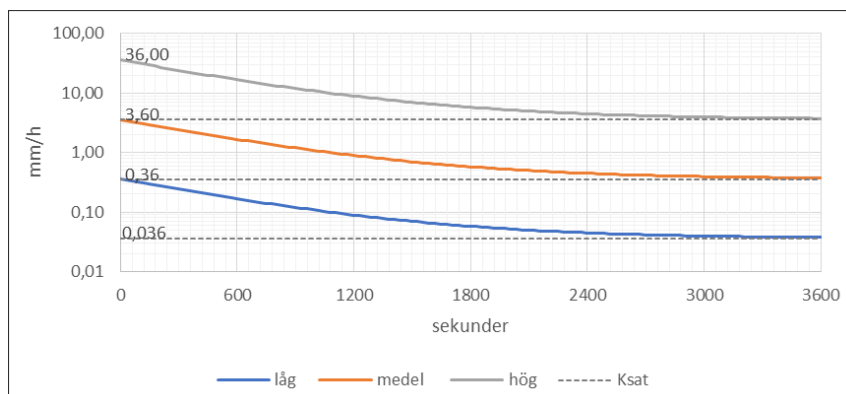
I modellverktyget kan man ansätta ytor i tre olika klasser av permeabilitet för infiltration eller exfiltration till mark: låg, medium och hög (ytorna har också olika Mannings tal där den mest genomsläppliga har högst råhet). Det är svårt att hitta en motivering till valda defaultvärden i verktyget så dessa har justerats mot SGU:s klassning av genomsläpplighet, se Tabell 4.5. Som *låg* har här valts en mättad konduktivitet som har betydelse för avrinningen under en vecka, *medelstor* betydelse under dygnet respektive *hög* betydelse under timman. Med betydelse menas att ytan infiltrerar så pass mycket att det ger en märkbar effekt på avrinningen.

De statiska hastigheterna har anpassats till medelvärdet för den första timman för klasserna låg till hög implementerade med Hortons formel.

De värden som används i modellsimuleringarna visas i Tabell 5.1 nedan.

Tabell 5.1 Valda värden på hydraulisk konduktivitet för de permeabla ytorna.

Klass	$K_0 \rightarrow K_{sat}$ mm/h	tvättning / torkning s^{-1}	Fast konduktivitet mm/h	Default i modellverktyg $K_0 \rightarrow K_{sat}$ mm/h	Motsvarande jordart enligt SGU
Låg	0,36 $\rightarrow$ 0,036	0,0015/0,000001	0,1	3,6 $\rightarrow$ 1,8	Lerig morän
Medel	3,6 $\rightarrow$ 0,36	0,0015/0,00001	1	36 $\rightarrow$ 3,6	↓ Grusig morän
Hög	36 $\rightarrow$ 3,6	0,0015/0,0001	10	72 $\rightarrow$ 18	



Figur 5.6 Använda exfiltrationshastigheter och deras avtagande i undersökningen. Enligt Mike Urbans defaultvärden motsvarar klasserna medium, låg och lägre än låg. Enligt SGU:s genomsläpplighetsklassning så rör sig alla värden inom ett medelspann.

Parametern tvättning i Tabell 5.1 styr hur infiltrationskapaciteten sjunker med tiden och den är lika för de olika klasserna i modellverktyget. Parametern torkning styr hur snabbt infiltrationskapaciteten återhämtar sig och den varierar med olika klasser. I Tabell 5.2 visas hur infiltrationskapaciteten varierar med tid och valda parametervärden vid uppblötning och upptorkning.

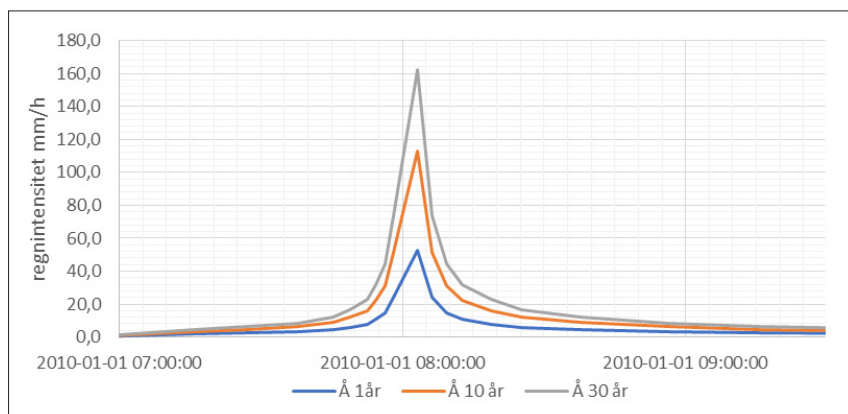
Tabell 5.2 Utvärdering av permeabilitetsklasserna använda i studien med parametrar från Tabell 5.1

Klass	Avtagande med 75 % inom spannet	Avtagande till 5 % inom spannet	Återhämtning till 75 % av initial	Återhämtning till 95 % av initial
Låg	16 min	34 min	16 d	35 d
Medel	16 min	34 min	3 d	7 d
Hög	16 min	34 min	1,5 d	3,5 d

5.5.3 Simulerade regn

Typregn av "CDS"-typ

För dimensionering av åtgärder så har ett 1-års regn med 1 timmas varaktighet och 10 minuters centralt block använts. Medan det i de olika körningarna har använts CDS regn med varaktigheten 3 timmar och ett centralt block på 5 minuter. Alltså när det gäller 1-årsregnet både lite intensivare i toppen och mer volymrikt. Se tabell nedan.



Figur 5.7 Designregn (CDS) 1, 10 respektive 30 års återkomsttid.

Tabell 5.3 Använda typregn i modellsimuleringar.

Beteckning	Återkomst- tid (år)	Centralt block (min)	Varaktig- het (min)	Högsta intensitet (mm/h)	Total volym (mm)
CDS 1y 10min 60min	1	10	60	82	12,31
CDS 1mo 5min 3h	1/12	5	180	23	8,7
CDS 1y 5min 3h	1	5	180	53	17,2
CDS 10y 5min 3h	10	5	180	112	34,6
CDS 30y 5min 3h	30	5	180	162	48,9

Konstanta regnintensiteter

De regnintensiteter som använts för ”uthållighetstesten” (se avsnitt 6.1.1) är:

- 18 mm/h
- 36 mm/h
- 54 mm/h
- 72 mm/h
- 90 mm/h
- 108 mm/h

För att räkna om det i liter per sekund och hektar så är det bara att dividera med 0,36 vilket innebär att t.ex. 72 mm/h motsvarar 200 l/s/ha.

Verkliga regnserier

De regnserier som har använts i såväl de teoretiska studierna som i samtliga fallstudier har tagits från SMHI:s mätstation i Arvika och i Göteborg för år 2015. I tabell nedan visas statistik för regnserierna. Anledningen till att Arvika valts är eftersom SMHI saknar mätstation i Karlstad med hög upplösning.

Tabell 5.4 Sammanställning av nederbördsdata använda i studien.

	Arvika	Göteborg
Station	SMHI station 92410	SMHI station 71420
Total nederbördsvolym (mm)	636 mm	1 033 mm
Antal regn (> 0,2mm)	192 st.	247 st.
Största regnvolym	33,1 mm (2015-09-01)	25,5 mm (2015-06-17)
Största volym 15 minuter	7,6 mm (2015-07-29) (1-årsregn)	7,1 mm (2015-07-29) (1-årsregn)
Största volym 60 minuter	13,9 mm (2015-07-29) (1,5-årsregn)	9,7 mm (2015-07-26) (1,5-årsregn)
Största dygnsvolym	35,6 mm (1 095 min) (2015-09-16) (2,2-årsregn)	35,6 mm (1 260 min) (2015-11-29) (0,9-årsregn)

5.5.4 Avdunstning och temperatur

Vid beräkningarna används värden för den potentiella evapotranspirationen (avdunstning) enligt Tabell 5.5.

Även om temperatur i verkligheten påverkar avdunstningen så ingår det inte i modellverktyget annat än vid beräkningar för snösmältning vilket dock inte fungerar tillsammans med åtgärderna för trög avvattning. Årsberäkningarna är således inte justerade för snölagring och avsmältning och visar mer effekten vid ett snöfritt år.

Tabell 5.5 Variation av den potentiella evapotranspirationen över året. (Eriksson, 1981)

Månad	jan	feb	mar	apr	maj	juni	juli	aug	sep	okt	nov	dec
PET (mm/d)	0	0,09	0,18	0,59	1,57	3,08	4,11	3,76	2,84	1,42	0,5	0,09

5.6 Del 1. Utformning, dimensionering samt test av olika åtgärders prestanda

Syftet med den teoretiska studien är att undersöka hur verktygen för modellering av trög avvattning fungerar och vad som har betydelse för effekten hos olika typer av åtgärder.

5.6.1 Olika åtgärders effekt: utformning och dimensionering

En anläggnings fördröjningseffekt är förstås helt beroende av hur den är dimensionerad. Samtidigt är det intressant att kunna jämföra olika typer av åtgärder med varandra. Det är därför viktigt att utformningen av åtgärderna såväl görs typiska som att de har samma dimensioneringskriterier som grund.

Dimensionering av dagvattenledningar görs typiskt efter en viss återkomsttid på regn enligt publikation P110 (Svenskt Vatten, 2016). Tidigare var det tioårsregnet som gällde men anpassning till Europannorm (SS-EN 752:2008) har förskjutit det emot trettioårsregnet även om ingen ny dom i Mark- och miljödomstolen som kan utgöra praxis finns ännu. Renings-

anläggningar dimensioneras istället ofta för att ge en viss uppehållstid för en viss regnvolym t.ex. 15 mm på 24 timmar som har använts mycket för dagvattendammar vid vägar. Som ett åtgärdsmått för dagvattenåtgärder vid större ombyggnationer i Stockholm anges att 20 mm ska kunna tas om hand för att rena 90 % av flödet (Stockholms Stad, 2016), flera andra kommuner har valt 10 mm.

Det är dock för jämförelsen mellan olika åtgärder inte så intressant ifall de skulle dimensioneras för att klara alla typer av regn – effekten skulle ju då bli 100 % för alla. Därför dimensioneras åtgärderna i studien för att kunna hantera ett 60 minuters CDS-regn med 1 års återkomsttid. Detta för att ha effekt på häftiga regn med varaktigheter som ofta ger upphov till problem i städer men att det också är möjligt att se effekten vid häftigare regn.

Åtgärderna dimensioneras för vissa kriterier:

1. För de åtgärder som har någon form av vattenhållande substrat så ges detta ett vattenhållande åtgärdsdjup motsvarande en fjärdedel av timmesregnet med ett års återkomsttid – $12,3 / 4 = 3,1$ mm. Det motsvarar också ungefär ett halvt tiominutersregn med ett års återkomsttid eller ett tiominutersregn med en månads återkomsttid. Det faktiska substratdjupet i åtgärden beräknas genom ytfaktor $\cdot 3,1$ mm / (fältkapacitet – vissningsgräns) och motsvarar den maximala förlust som uppstår i en helt torr åtgärd.
2. Sedan justeras utjämningsdjupet i åtgärden så att total volym i åtgärden motsvarar ettårsregnet med 60 minuters varaktighet. Alltså att porvolymen i substratet + utjämningsvolymen tillsammans motsvarar 12,3 mm åtgärdsdjup.
3. För de åtgärder som har både infiltration till mark och dränering läggs ett extra infiltrationsbuffertmagasin på en fjärdedels månadstimmesregn, ca 3,1 mm.
4. Svackdiken har dimensionerats för att infiltrera halva nederbörden vid ett 1-årsregn

Det finns två sorters parametrar att skruva på för att åstadkomma denna dimensionering

1. Magasins mäktighet (tjocklek)
2. Ytfaktor (anläggningens storlek/totala tillrinningsområdets storlek)
3. Ytråhet och lutning för exempelvis svackdiken

Tillrinningsfaktorn har givits rimliga värden och magasinerna justeras med magasinformeln i kalkylblad utan hänsyn till rinntid för att klara designregnet. I modellverket har sedan designregnet testats på åtgärderna och vid behov har justering av magasinvolym skett för att uppnå designkriterium.

Vissa anläggningar kan ej dimensioneras på samma standardiserade sätt då deras utformning mer styrs av dess tekniska förutsättningar vilket gäller för till exempel permeabel asfalt och gröna tak där tjocklekar på marklager styrs av andra faktorer. Här har istället typiska värden använts.

5.6.2 Använda modellparametrar i studien

I studien har ett antal olika åtgärder utformats, dimensionerats och implementerats. Dessa visas överskådligt i Tabell 5.6 och Tabell 5.7. Samtliga modellparametrar redovisas i bilaga 1. I Tabell 5.6 anges ifall det handlar om en dimensionerad åtgärd (se avsnitt 5.6.1) eller ifall det är en typisk utformning för åtgärden i fråga. De viktigaste parametrarna för åtgärderna är de åtgärdsdjup de har (hur många millimetrar regn rymmer de) samt vilka hastigheter som styr genomflödet (konduktivitet), exfiltration till omgivande mark samt avtappning till ledningsnätet. Om en åtgärd blir full så sker bräddning till ledningsnätet utan flödesbegränsning i samtliga fall. I Tabell 5.7 visas de vätningsförluster samt exfiltrationshastigheter som används för de permeabla ytorna, se också avsnitt 5.5.2.

Tabell 5.6 Sammanfattning av nyckelparametrar för de åtgärder som implementerats i studien. Tabellfälten avser i ordning. Är det en dimensionerad anläggning eller en typisk utformning, vilket är förhållandet mellan tillrinningsområdets area och anläggningens area, vilka åtgärdsdjup har åtgärdens ytmagasin, mellanmagasin respektive djupmagasin, vilken konduktivitet har åtgärden, med vilken hastighet exfiltrerar åtgärden, samt med vilken hastighet kan den avtappas till ledningsnät?

Benämning	Dimen- sionerad/ Typisk	Ytfaktor [-]	Åtgärdsdjup			Hastigheter		
	D/T		Yt- magasin [mm]	Mellan- magasin [mm]	Djup- magasin [mm]	Konduk- tivitet [mm/h]	Exfiltration [mm/h]	Drän. till ledn.nät [mm/h]
Regntunna a	D	100	0,00	0,00	12,31	-	2,4 ¹	0
Regntunna b	T	50	0,00	0,00	4,00	-	1,2 ²	0
Regntunna c	T	100	0,00	0,00	30,00	-	3 ³	0
Grönt tak c 100 mm	T	1	0,00	50,00	0,00	60	-	allt ⁴
Utgjämning på tak	D	1	0,00	0,00	60,00	-	-	1,1 ⁵
Regnbädd a	D	30	4,61	7,69	1,67	600	0	1 000
Regnbädd e	T	30	6,66	8,33	1,67	600	0	1 000
Regnbädd c	D	30	4,62	7,70	3,33	100	1	1 000 ⁶
Infiltrations- stråk b	D	8	0,00	0,00	12,31	-	1	0
Permeabel beläggning	T	1	0,00	15,00	25,00	-	10	0
Svackdike	T	16	31,25	0,00	0,00	-	0 → 200	allt ⁴

Anmärkningar:

¹ töms på 3 v

² töms på 1 v

³ töms på 6 v

⁴ avtappningen till ledningsnätet begränsas ej

⁵ töms på 11h (var eg. tänkt 24 h)

⁶ upphöjd dränering i djupmagasin som det kan "bräddas" till ifall inte infiltrationen hinner med.

Tabell 5.7 Inställningar för de permeabla ytor som implementerats i modellen i tre klasser.

Permeabla ytor	Vättningsförlust	Initial konduktivitet	Slutlig konduktivitet	Tidsfaktor (vätning)	Tidsfaktor (återhämtning)
Låg	3 mm	0,36 mm/h	0,036 mm/h	0,0015 s ⁻¹	10 ⁻⁶ s ⁻¹
Medel	3 mm	3,6 mm/h	0,36 mm/h	0,0015 s ⁻¹	10 ⁻⁵ s ⁻¹
Hög	3 mm	36 mm/h	3,6 mm/h	0,0015 s ⁻¹	10 ⁻⁴ s ⁻¹

5.6.3 Test av uthållighet

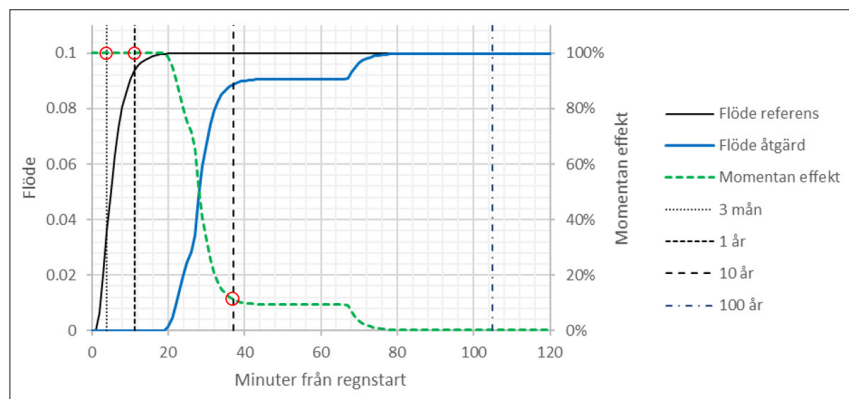
Vid regn har en åtgärd för trög avvattning, så länge magasinet inte är fullt, en flödesreducerande effekt. Genom att genomföra ett antal simuleringar där regnet givits en konstant intensitet kan man vid olika tidpunkter utvärdera vilken momentan effekt som åtgärden har för olika återkomsttider (se Tabell 5.8). De regnintensiteter som testats är 18, 36, 54, 72, 90 samt 108 mm/h (motsvarande 50–300 l/s/ha).

Modellsimuleringarna är genomförda med den teoretiska modellen som beskrivs under avsnitt 5.3 med åtgärder implementerade enligt Tabell 5.6.

Tabell 5.8 Varaktigheter (minuter) motsvarande olika återkomsttider för regnintensiteterna använda i uthållighetstestet.

Intensitet	Återkomsttid						
	3 mån	1 år	2 år	5 år	10 år	30 år	100 år
18 mm/h	17,2	34,4	47,6	72,1	97,9	157,3	261,0
36 mm/h	3,9	11,3	16,6	26,5	37,1	61,6	105,0
54 mm/h		4,7	8,0	13,9	20,2	34,7	60,7
72 mm/h			3,8	8,3	12,6	22,6	40,6
90 mm/h				4,9	8,4	15,9	29,4
108 mm/h					5,6	11,7	22,3

Modellsimuleringar genomförs med de olika regnintensiteterna och flödesvaret för områden med åtgärder jämförs med flödessvaret för ett referensområde utan åtgärder. Varje område är 1 hektar stort. Av denna anledning så går inte flödet från noll till fullt direkt när en åtgärd är full utan rinntiden för området kommer också med i utvärderingen. Figur 5.8 visar hur analysen görs för att utreda den momentana effekten för olika återkomsttider.



Figur 5.8

Utvärdering av uthållighet. Den momentana effekten utvärderas efter de tider som motsvarar en viss återkomsttid. Konstant regnintensitet 36 mm/h ger 0,1 m³/s från området. I figuren markeras utvärdering för 3 månaders återkomsttid (3,9 min), 1 år (11,3 min) och 10 år (37,1 min).

5.6.4 Test av typregn

Uthållighetstestet tar egentligen fram respektive åtgärds effekt på blockregn av olika varaktigheter men analyserar inte hur den totala avrinningen skulle se ut ifall regnet plötsligt skulle upphöra och ger därför lite felaktiga resultat om toppen endast är "försenad". Vidare förutsätter testet att åtgärderna har full kapacitet i det avseende att inte magasin är fyllda eller jordsubstrat mättade till fältkapacitet. Dock ser det oftast inte ut så vid verkliga regn. För att ta hänsyn till detta har också modellberäkningar med CDS-regn genomförts med återkomsttiderna 1, 10 och 30 år med varaktighet 3 timmar.

Därefter har maxflöde för olika varaktigheter analyserats för att kunna beräkna effekten på maxflödet.

5.6.5 Test kring vilken kapacitet som finns när regnet inträffar

Genom att simulera ett helt år fås en samlad effekt för olika regntillfällen och också en modellsimulering av hur åtgärderna hinner torka upp mellan nederbördstillfällen. Vilket möjliggör att åtgärdernas kapacitet/fyllnadsgrad när regnet inträffar kan undersökas.

Vid modellsimuleringar har nederbördsserier för 2015 från Göteborg och från Arvika använts.

5.7 *Del 2. Implementering av åtgärder i dagvattenmodeller över verkliga områden*

I fallstudierna har avsikten varit att testa slutsatserna från de teoretiska studierna genom att lägga till åtgärder för trög avvattning till kalibrerade dagvattenmodeller. De åtgärder som valts har bedömts som rimliga i förhållande till respektive områdes karaktär.

Fem test för implementering av trög avvattning i modellverktyget har genomförts i fallstudien.

- Test A: Testa olika grader av implementering.
- Test B: Testa maximal implementering efter tillgänglig areal av hårdgjorda ytor av olika typer.
- Test C: Testa varierande grad av infiltrationsförmåga i mark.
- Test D: Testa hur lokaliseringen av åtgärder påverkar maximalt flöde från ett område.
- Test E: Teoretisk beräkning av magasineringsbehov för olika grader av fördröjning.

5.7.1 Generella antaganden och förfaringssätt

De dagvattenmodeller som erhållits över områden i Karlstad i Göteborg har använts som de är utan några andra justeringar än byte av metod för beräkning av dagvattenflöden, se avsnitt 5.7.3.

Ansluten hårdgjord yta i modellerna har överförs till typen "impermeabel platt" i modellerna och koncentrationstiden har översatts till en längd enligt en framtagen empirisk formel.

Samtliga områden i studien är enligt SGU klassade som ej genomsläppliga (lera och berg) varför exfiltrationskapacitet för de åtgärder som har exfiltration satts till 1 mm/h. Enligt infiltrationskapacitet för ingående jordarter borde exfiltrationskapaciteten vara ännu lägre men det antas att överlagrade jordarter och uppfyllnad kan ha en högre infiltrationskapacitet vilket kan motivera ett högre värde.

5.7.2 Simulerade nederbördssituationer och beräkningar

De implementerade lösningarna har studerats vid olika regnsituationer och för olika typregn har även rörnätsberäkningar genomförts. Två riktiga regnserier för 2015 (SMHI:s mätningar 15 min, Arvika och Göteborg) har också använts som indata för rena avrinningsberäkningar.

5.7.3 Förberedande arbeten med anledning av byte av avrinningsmodell

Modellverktyget kan använda sig av olika inbyggda metoder för att beräkna dagvattenavrinning. I Sverige är det vanligast att en tid-areaberäkningsmetod används i verktyget (metod A). Metod A innefattar endast hårdgjord yta i sin flödesberäkning. För att kunna använda de inbyggda funktionerna för modellering av trög avvattning måste en annan metod (metod B) för beräkning av dagvattenflöde användas.

Överföring av reducerad area

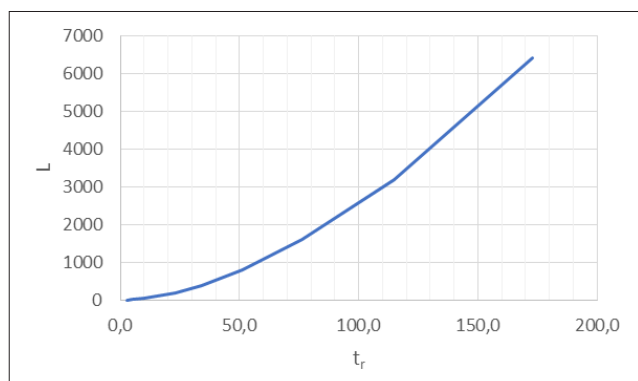
Metod B har fem olika typer av deltagande ytor. De fem olika typerna är "icke-permeabel brant" (används för tak och har ingen förlust för lagring på ytan däremot vätning), "icke permeabel platt", "permeabel låg", "permeabel medel", "permeabel hög". För att inte förändra de tillhandahållna dagvattenmodellernas prestanda behöver en översättning av de olika metoderna finnas. Den enklaste översättningen avseende deltagande yta är att helt enkelt flytta över den hårdgjorda ytan från metod A till yta av typen "icke permeabel platt" i metod B. I metod A uttrycks ytans storlek genom att andelen av hela avrinningsområdets area matas in. Resten, differensen mellan 100 % och andelen tas inte med i beräkningen. För metod B måste andelar för alla marktyper som ingår anges och dessa ska summera upp till 100 %. Två tillvägagångssätt har använts för att lösa detta. Det ena är att minska hela avrinningsområdets storlek så att det blir lika stort som den hårdgjorda ytan i metod A och sätta 100 % som "icke-permeabel platt" i metod B. Det andra sättet är inte förändra totalarean och lägga återstoden (100 % minus andelen i metod A) på högpermeabla ytor och justera infiltrations-hastigheten för dessa så att ytavrinning aldrig uppkommer från dessa högpermeabla ytor vilket i praktiken innebär att dessa då också tas bort från beräkningen.

Översättning av koncentrationstid, t_c , till längd, L

Avrinningsförloppet i metod A styrs av en fast koncentrationstid, t_c tillsammans med en avrinningskurva medan metod B, som baseras på Mannings formel, istället använder en karakteristisk längd (L) som tillsammans med lutning och råhet på ytan bestämmer koncentrationstiden. Detta kräver att man hittar en lämplig översättning för att dagvattenmodellerna

ska få samma prestanda som de ursprungligen hade. Ett problem är att denna översättning varierar med olika regnintensitet, med olika värden på Mannings tal samt med olika marklutning. Det går alltså inte att få en entydig översättning som stämmer för alla olika regnintensiteter.

För att ta reda på sambandet mellan koncentrationstid i metod A och karakteristisk längd i metod B har ett antal modellsimuleringar med metod B genomförts där regnintensiteten hållits konstant men där längden (L) i beskrivningen av avrinningsområdets hydrologi varierats. Tiden tills dess att fullt flöde (97,5 % av fullt) uppnåtts har analyserats och tagits för att motsvara koncentrationstiden, t_r , i metod A. Utifrån resultatet har ett samband mellan koncentrationstid och längd (L) kunnat tas fram, se Figur 5.9.



Figur 5.9 Förhållande mellan längd, L , och koncentrationstid, t_r vid olika regnintensiteter. Förhållandena gäller för $M = 70$ och marklutning = 3 %, $i = 150$ l/s/ha.

Olika regnintensiteter testades men till slut föll valet på 150 l/s/ha vilket låg mitt i spannet av analyserade regnintensiteter för häftiga regn i denna studie.

Regressionsanalys tog fram en formel:

$$L = 1,8 \cdot t_r^{1,56}$$

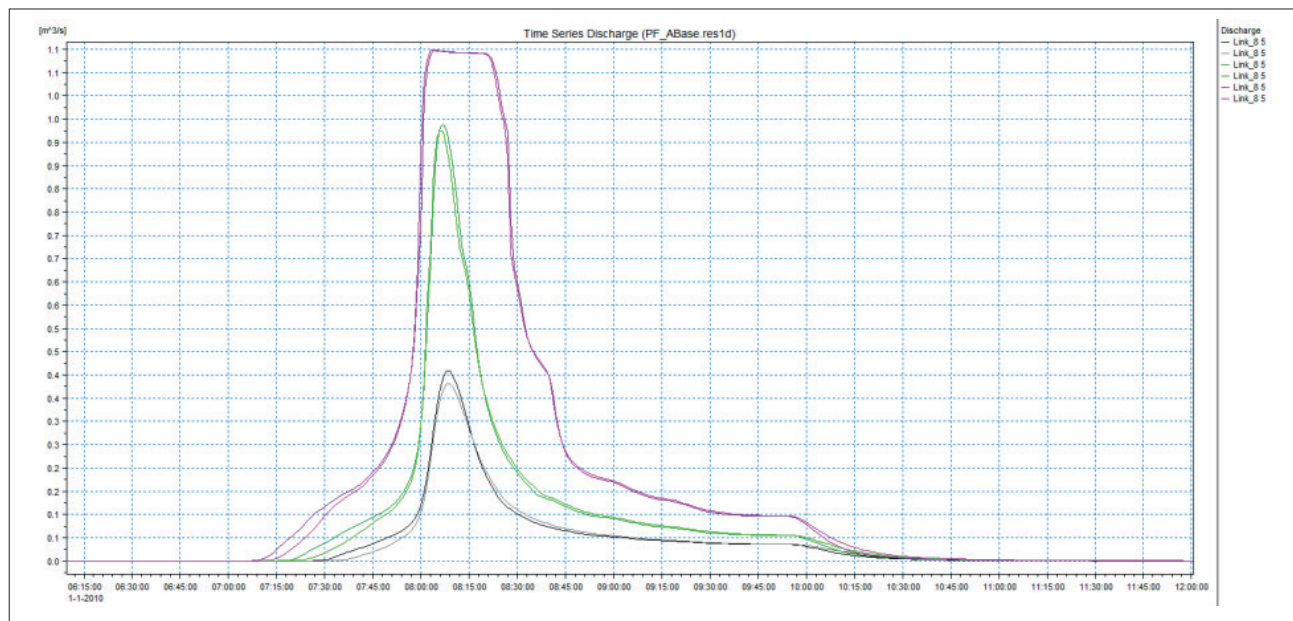
L upptäcktes sen också vara beroende av avrinningskoefficient (φ) (troligtvis beror det av att L i modellverktyget indirekt beräknas utifrån områdets totala storlek) på det sättet att koncentrationstiden för till exempel ett område på 1 ha och 25 % hårdgjordhet inte blir densamma som ett område på 0,25 ha och en hårdgjordhet på 100 % trots att den reducerade arean är lika stor. Detta innebär att det inte går att hitta en entydig översättning för olika områden med olika avrinningskoefficient. En lösning på detta problem är att reducera områdenas storlek till den hårdgjorda arean enbart och sätta avrinningskoefficienten till 100 % – en ”reducerad area-modell”.

Av en slump upptäcktes senare att formeln:

$$L = \frac{1}{\sqrt{\varphi}} 1,8 \cdot t_r^{1,56} \quad \text{Ekv. 5-1}$$

löste problemen med effekter från en varierande avrinningskoefficient för olika områden.

Utvärdering av översättningen enligt detta förfarande har gett god överensstämmelse av flödeshydrografer för olika regnintensiteter. När avrinningsområdena är små och har korta koncentrationstider så har dock skillnaden i översättning mellan låga och höga regnintensiteter inte någon större betydelse. Se figur nedan.



Figur 5.10 Utlöde från området (Skattkärr) vid 1 månad, 1 år respektive 10 år. De mörkare linjerna är ursprungsmodellens resultat med en tid-areamodell och de ljusare linjerna är den översatta modellen. Modellen har små områden med korta koncentrationstider vilket har medfört små skillnader i flöde. Vid kraftigare regn däms systemen vilket också förklarar de små skillnaderna.

I fallstudien har områdena översiktligt analyserats utifrån tillgängliga höjdkartor och jordartskartor, men ingen grundligare analys har gjorts. För att utvärdera vilka förutsättningar som finns för åtgärder har markanvändning från kartor och flygfoton analyserats visuellt. Flera olika tester genomfördes.

5.7.4 Test A: Olika grader av implementering av åtgärder för trög avvattnings

Eftersom olika typer av ytor har olika möjligheter för åtgärder (t.ex. ett grönt tak ligger ju lämpligtvis på ett tak) så har åtgärder valts i förhållande till en typisk fördelning av olika typer av hårdgjorda ytor som tagits från en SVU-Rapport (Svensson & Tegelberg, 2013)

Åtgärder har sedan lagts ut i modellen med 10, 20, 40 respektive 80 % av reducerad area inom området.

1. Anslutna ytor i modellen har förväntat fördela sig i enlighet med en tidigare publicerad SVU rapport kring hårdgjordhet i olika typområden.

2. Därefter har varje markanvändning (tak, väg och övrig hårdgjord yta) tilldelats en åtgärdsstyp var (regntunna, infiltrationsdiken och permeabel beläggning).
3. Slutligen har implementering genomförts med 0 %, 10 %, 20 %, 40 % respektive 80 % av ansluten yta i modellen.

Testet har genomförts med dagvattenmodellen för Skattkärr i Karlstad.

5.7.5 Test B: Potential för implementering av åtgärder för trög avvattning

En mer detaljerad markanvändningsanalys genomfördes än för test A.

1. Olika hårdgjorda ytor har karterats med flygfoton som underlag och klassificerats som platta tak, lutande tak, övriga hårdgjorda ytor.
2. Olika åtgärdsstyper har tilldelats olika typer av hårdgjorda ytor ("utjämning på tak" för platta tak, "gröna tak" för lutande tak samt "infiltrationsdiken" för övriga hårdgjorda ytor (ej väg)
3. Maximal tilldelning har gjorts genom att successivt tilldela olika åtgärder till olika typer av hårdgjorda ytor med säkerställande i varje steg att åtgärdad yta inte blir större än den anslutna ytan i ursprungsmodellen.
 - a. Uppmätta platta takytor tilldelats "utjämning på tak".
 - b. Därefter har uppmätta lutande tak fått återstoden av takytorna efter att de platta takytorna dragits bort.
 - c. Övriga uppmätta hårdgjorda ytor har tilldelats infiltrationsdiken av det som återstår av anslutna ytor efter att platta och lutande tak dragits bort.
 - d. Genom förfarandet a–c så blir åtgärdad yta inte större än total ansluten yta i modellen.
4. De olika åtgärdsstyperna simuleras en åt gången.

Testet har genomförts med dagvattenmodellen för Gräsdalen i Karlstad.

5.7.6 Test C: Ökad grönytefaktor/exfiltration

Eftersom mycket då det gäller hållbar dagvattenhantering handlar om hur stora avrinningsförluster som sker i form av mättnad av substrat samt exfiltration så har ett renodlat exempel utformats där:

1. 33 % av anslutna ytor i modellen istället antagits utgöras av permeabla ytor med låg, medium eller hög exfiltrationskapacitet
2. Vätnings och lagringsförlusten för ytorna har ökat till 3,075 mm (normalt 0,5–1 mm) för att motsvara dimensioneringskriteriet i den teoretiska studien (avsnitt 5.6.1).

Testet har genomförts med en modell för kombinerat ledningsnät i Örgryte i Göteborg.

5.7.7 Test D: Åtgärders distribution

För att utreda hur distribution av åtgärder påverkar flödeseffekten i en utloppspunkt har olika distribuering av åtgärder testats där samma totala "mängd" åtgärder (40 % av anslutna ytor) har fördelats. Två åtgärdsstyper, regntunnor 200 liter till 50 m² tak har valts samt en regnbädd utformad

som regnbädd e i Tabell 5.6. Åtgärderna distribuerades i området på tre olika sätt.

1. Jämnt över hela området
2. Nedströms där 50 % placerats nära utloppet, 33 % i mitten av området och 17 % långt upp i området
3. Uppströms där 50 % placerats långt upp i området, 33 % i mitten av området och 17 % nära utloppet.

Testet har genomförts med dagvattenmodellen för Skattkärr i Karlstad.

5.7.8 Test E: Teoretisk beräkning av nödvändig magasinsvolym

Med hjälp av ekvation 4-2 kan volymsbehovet beräknas för en viss flödesreduktionseffekt som sedan kan jämföras med modellresultaten från test A. Flödesreduktionseffekten beräknas på reduktion av toppflödet från hela området.

Testkörningar med modellen har visat på en rinntid på mellan 20–25 minuter och en reducerad area på ganska precis 10 ha för det område som simulerats i test A. Ett teoretiskt toppflöde kan sedan beräknas för regn över området med 10 års återkomsttid och 22,5 minuters varaktighet med hjälp av rationella metoden (Ekv. 4-4) och med Dahlströms formel (Ekv. 4-3). Toppflödet blir 1,4 m³/s.

Toppflödet stryps sedan till 40 % respektive 80 % och den specifika avtappningen K i liter per sekund och reducerad hektar, kan beräknas och användas i ekvation 4-2 för att ge magasinsbehovet.

5.7.9 Implementering av testerna i modellverket

Implementering enligt test A (Skattkärrsmodellen)

Skattkärr kan jämföras med ”villor” i SVU – rapporten kring avrinningskoefficienter (Svensson & Tegelberg, 2013) en närmare sammanställning av data i rapporten visar att tak, väg och övrig hårdgjord yta för ”villor” står för 30, 40 respektive 30 procent.

I och med områdets karaktär av villaområde så ses möjligheterna till att arbeta mot ökad hantering av dagvatten på tomtmark genom olika incitament. Till exempel kan bidrag ges för bortkoppling av stuprör. Regnvattentunnor skulle kunna distribueras ut. Vissa av de hårdgjorda ytorna som genomfartsväg genom området skulle kunna förses med ett infiltrationsdike och försök med permeabel beläggning skulle kunna testas.

För försöket testas åtgärder i omfattningen 10, 20, 40 och 80 % av möjlig yta.

Använda åtgärder specificerade i Tabell 5.6:

- Tak (30 % av hårdgjord yta) leds till åtgärden regntunna b
- Vägytor (40 % av hårdgjord yta) leds till infiltrationsdike b
- Övrig hårdgjord yta (30 %) förses med permeabel beläggning.

Beräkningar genomförs för 0, 10, 20, 40 respektive 80 % implementering av åtgärder:

- Avrinning och ledningsflöden beräknas vid 1, 12, 120 och 360 månaders regn
- Avrinning beräknas för ett referensår. SMHI:s regndata för Arvika och Göteborg 2015 har använts.

Implementering enligt test B (Gräsdalenmodellen)

I modellen Gräsdalen har följande olika alternativ implementerats och utvärderats var för sig:

1. Alla platta tak har försetts med fördröjning av takdagvattnet genom att ett entimmes 1-årsregn får rinna ut på 24 h i stället för på en timme. (Utflöde ca 0,5 mm/h eller 50 l/h för ett 100 m² tak). Då det lastmässigt inte är något problem att klara av betydligt högre regn så kan det dämna obegränsat på taket maxnivå = 60 mm.
2. Samtliga tak som inte är platta har gjorts till gröna tak med 100 mm tjocklek
3. Återstående hårdgjorda ytor förutom väg har letts till infiltrationsstråk med en exfiltrationshastighet på 1 mm/h med hänsyn till låg permeabilitet i området.

Använda åtgärder specificerade i Tabell 5.6:

- Utjämning på tak (100 mm, samt tömningstid 12,3 mm på 24 h)
- Grönt tak c 100 mm
- Infiltrationsstråk b

Modellsimuleringar:

- 1–10–30-årsregn
- 2015 års nederbörd

Implementering enligt test C (Örgrytemodellen)

Åtgärder i Örgrytemodellen har implementerats mer generellt än i de övriga modellerna. De hårdgjorda ytorna som idag finns i modellerna antas på olika sätt bli grönare – det vill säga att vätnings- och lagringsförlusterna på ytan ökar samt i högre utsträckning att infiltration sker till marken.

Det exempel som testats är att låta 33 % av de hårdgjorda ytorna i modellen bli mer gröna på tre sätt:

- Hårdgjord yta byts ut mot lågpermeabel yta: initialt 0,36 mm/h; efter en timme 0,036 mm/h. Medel första timmen: 0,1 mm/h
- Hårdgjord yta byts ut mot medelpermeabel yta: initialt 3,6 mm/h; efter en timme 0,36 mm/h. Medel första timmen: 1 mm/h
- Hårdgjord yta byts ut mot högpermeabel yta: initialt 36 mm/h; efter en timme 3,6 mm/h. Medel första timmen: 10 mm/h

De olika typernas infiltrationsförmåga återställs mellan regn med olika tidskonstanter där den högpermeabla återställs på mindre än ett dygn medan den medelpermeabla behöver 3–4 dagar och den lågpermeabla behöver upp till en vecka på sig.

Implementering enligt test D (Skattkärrsmodellen)

Områdesindelning

- Nedströms
- Centralt
- Uppströms

0 50 100 200 300 400 meter

Sedan har åtgärder enligt Tabell 5.6 använts i en omfattning av 40 % av ansluten area i olika modellsimuleringar:

- Modellsimuleringar har gjorts för:

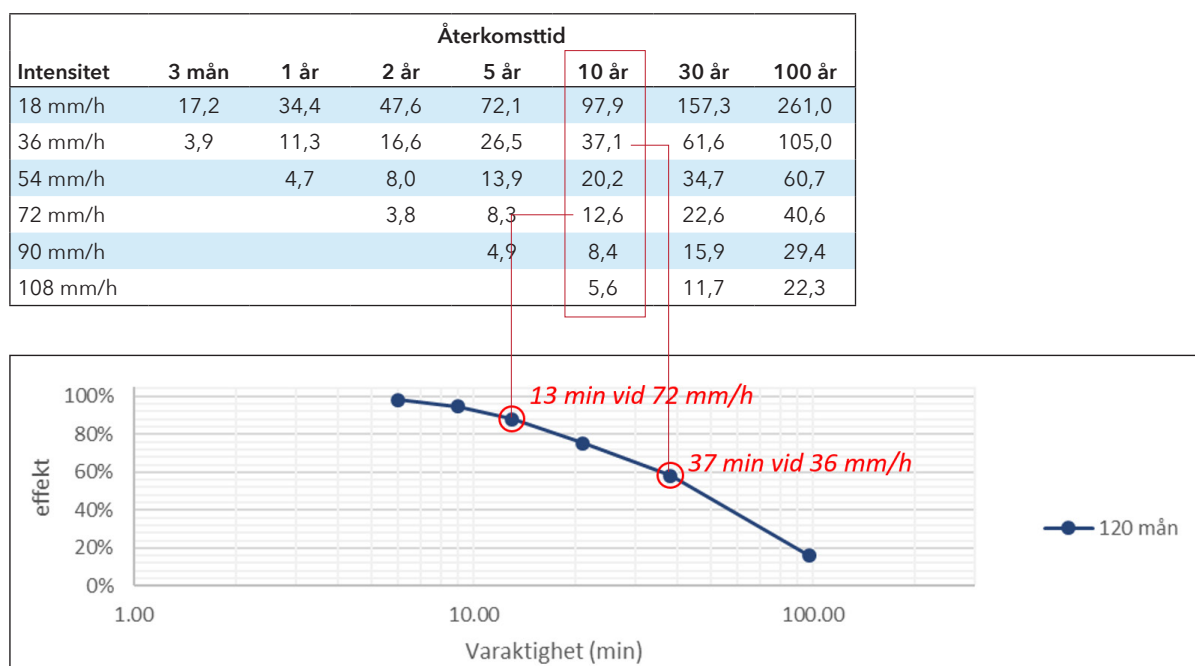
- 59

6 Resultat

6.1 Del 1. Åtgärders prestanda

6.1.1 Resultat uthållighetstest

I testet undersöks hur länge en åtgärd ”kan stå emot” en viss regnintensitet. Utflödet från åtgärden jämförs med utflödet från ett referensområde. Sedan utvärderas den momentana effekten för de varaktigheter som för en viss regnintensitet motsvarar olika återkomsttider. Genom att simuleringar med olika regnintensiteter genomförs så kan kurvor för uthålligheten för en åtgärd för respektive återkomsttid plockas fram, se Figur 6.1.



Figur 6.1 Konstruktion av uthållighetskurvor för den momentana effekten hos en åtgärd som en funktion av tiden. För att ta fram effektkurvan för 10 års återkomsttid så måste den momentana effekten vid 98 minuter och 18 mm/h utvärderas, 37 minuter och 36 mm/h, 20 minuter och 54 mm/h o.s.v. Intensitets varaktighetssamband har tagits från en formel (Dahlström, 2010).

Eftersom kurvorna utformas för olika återkomsttider så sjunker regnintensiteten med ökad varaktighet. Detta medför att modelleringsresultatet för de lösningar som innefattar en exfiltration med en konstant hastighet så kan den utvärderade effekten komma att öka vid mer långvariga regn. Detta är troligtvis en effekt som inte stämmer med verkligheten då man snarare förväntar sig att exfiltrationskapaciteten avtar och leder till en sämre effekt, se t.ex. Figur 6.12.

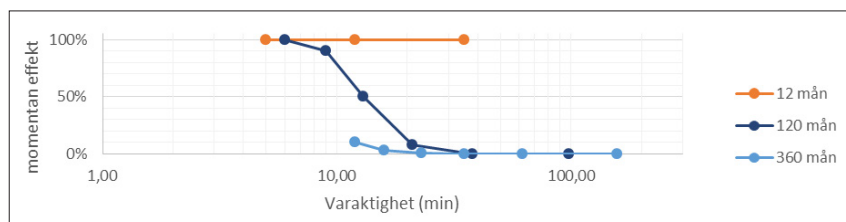
Resultatgrafer i följande avsnitt följer ordningen från Tabell 5.6 som beskriver de studerade åtgärderna. Samtliga åtgärders magasin vid simuleringens start är tomma det vill säga regntunnor är tomma, jordsubstrat ligger vid vissningsgränsen och infiltrationsytor har sin initiala infiltra-

tionskapacitet. I avsnitt 6.1.3 finns en mindre studie på hur sannolikt full kapacitet beroende på årstid.

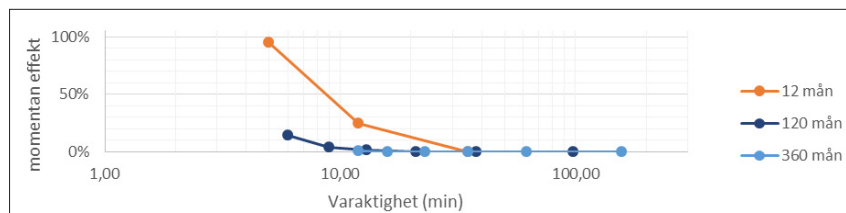
När man tolkar resultatgraferna kan det vara bra att påminna sig om att de visar avrinning från ett 1 hektar stort område med 100 % av deltagande yta försett med åtgärder. Det som händer i modellverktyget när en åtgärd ger ett utflöde är att detta flöde koncentreras inom avrinningsområdet och flödesökningen kommer därmed inte ske momentant.

Regntunnor

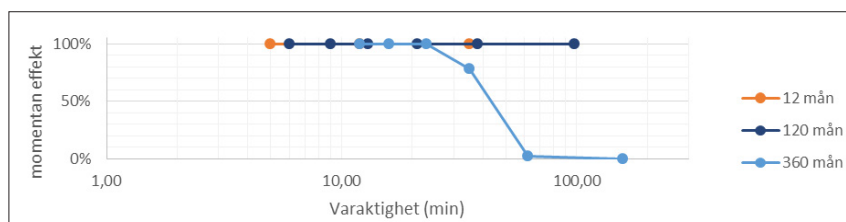
Regntunnor har en viss volym som när den är förbrukad kommer att resultera i ett oreducerat utflöde. Utflödet blir då lika med inflödet. För regntunnor är det väldigt tydligt att man får precis det resultat man kan förvänta sig. En regntunna som är dimensionerad för ett 1-årsregn under en timme 12,3 mm, Figur 6.1, räcker till 1 årsregnet men klarar inte 10 minuter av 10 årsregnet (13,7 mm). En mindre regnvattentunna på 200 liter till 50 m² tak räcker inte länge (4 mm) vid kraftiga regn, Figur 6.3. På samma sätt räcker en regnvattentank på motsvarande 30 mm för kraftigare regn än de två andra regntunnorna, Figur 6.4.



Figur 6.2 Regntunna a på 1 230 liter till 100 m² tak. Dimensionerad för 1-årsregn, 60 minuter (12,3 mm). Tömning på 3 veckor.



Figur 6.3 Regntunna b 200 liter till 50 m² tak (4 mm). Tömning på 1 vecka.

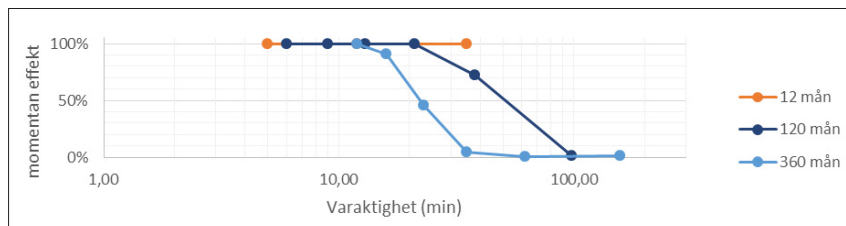


Figur 6.4 Regntunna c 3 000 liter till 100 m² tak (30 mm). Tömning på 6 veckor.

Gröna tak

Ett grönt tak påvisar här en effekt som här helt kan härledas till mättning av jordsubstratet, se Figur 6.5. Jordsubstratet har givits en permeabilitet

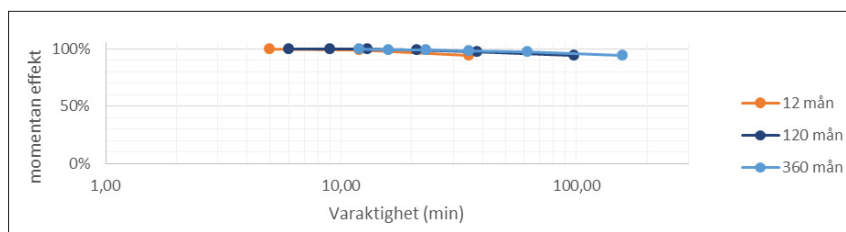
på 60 mm/h som visserligen kan överstigas av regnintensiteten för kortare varaktigheter men då pågår fortfarande mättnad av jordsubstratet som med modellinställningarna kan hålla 20 mm vatten.



Figur 6.5 Grönt tak c 100 mm tjockt.

Utgjämning på tak

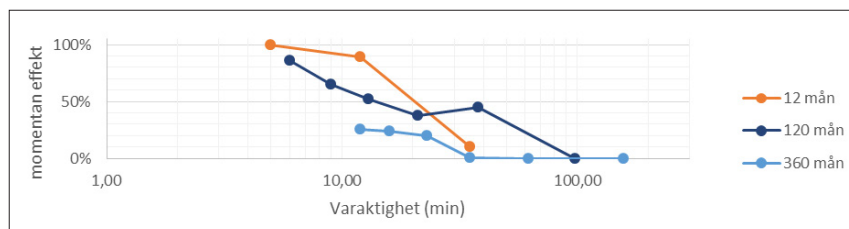
Utgjämning på tak ger en nästan hundra procentig effekt för alla typer av regn, se Figur 6.6. Utflödet är dimensionerat att tömma 12,3 mm på taket under 11 timmar (1,1 mm/h) vilket ger ett tömningsflöde på ca 3 cl per sekund per 100 m² takyta. Eftersom det tillåts dämna 60 mm.



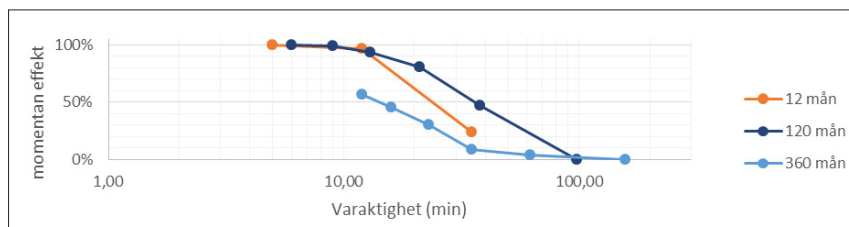
Figur 6.6 Utgjämning på tak. Utlopp dimensionerat för att tömma ett 1-års-regn 60 minuter (12,3 mm) på 11 timmar. (Max dämning 60 mm)

Regnbädd med avtappning till ledningsnät med och utan exfiltration

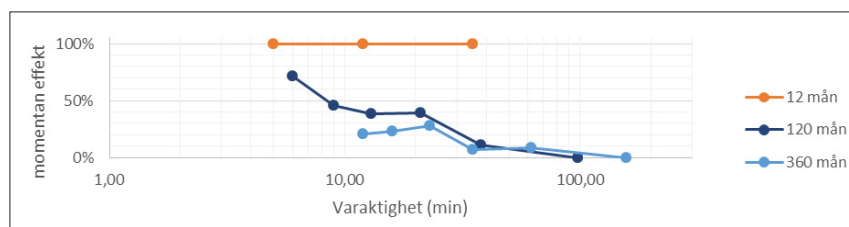
Uthållighetskurvorna för regnbäddar blir lite mer komplexa att tolka då det finns många faktorer som spelar in. Regnets intensitet vid olika varaktigheter, ytfaktorn, en hydraulisk konduktivitet, substratets vattenhållande förmåga, ett utjämningsmagasin samt en eventuell exfiltrationshastighet. En hög perkolationshastighet kommer att i många fall ge samma flöde ut som in då regnintensiteten multiplicerad med ytfaktorn blir lägre än den hydrauliska konduktiviteten. I Figur 6.7 och Figur 6.8 syns att 1 årsregnet och 10 årsregnet mer eller mindre rinner rakt igenom filtret när det är mätta medan 30 årsregnet fyller utjämningsvolymen ganska snabbt och bräddar (effekten går ned till 0 %). Figur 6.9 visar att exfiltration ökar åtgärdens uthållighet. Den lägre perkolationshastigheten för denna åtgärd medverkar till en tidigare bräddning vid 10 årsregnet.



Figur 6.7 Regnbädd a. Dimensionerad. Hög perkolationshastighet (600 mm/h).



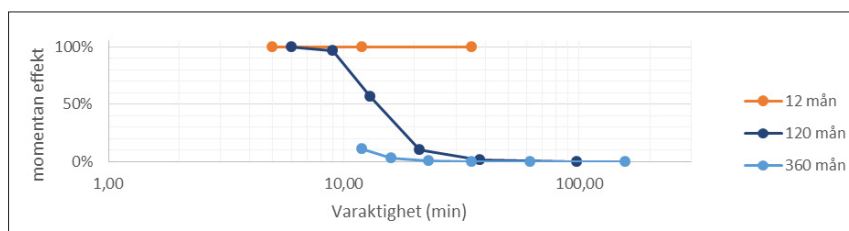
Figur 6.8 Regnbädd e (HSB Living Lab i Göteborg). Hög perkolationshastighet (600 mm/h).



Figur 6.9 Regnbädd c dimensionerad med exfiltration (1 mm/h). Låg perkolationshastighet (100 mm/h).

Infiltrationsstråk

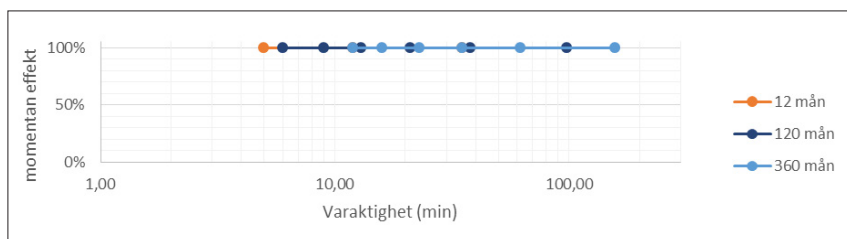
Infiltrationsstråket som är dimensionerat för 1 årsregn med volym med hänsyn till exfiltrationshastigheten klarar också 1 årsregnet, se Figur 6.10. För kraftigare regn så fylls magasinet och bräddning sker.



Figur 6.10 Infiltrationsstråk b. Dimensionerad. Med medium infiltrationskapacitet 1mm/h.

Permeabel beläggning

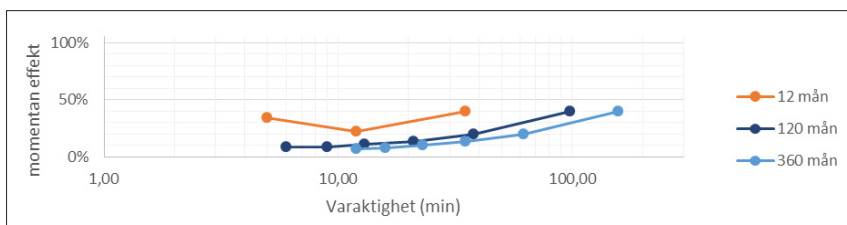
På det sättet permeabel beläggning är definierad i modellverktyget har det kapacitet att hantera alla typer av regn, se Figur 6.11. Detta eftersom det har en hög infiltrationsförmåga och uppbyggnaden med hålrum i bärlager är tillräckligt stor att svälja regnet.



Figur 6.11 Permeabel beläggning 2a med hög underliggande infiltrations/dräneringskapacitet 10 mm/h.

Svackdiken

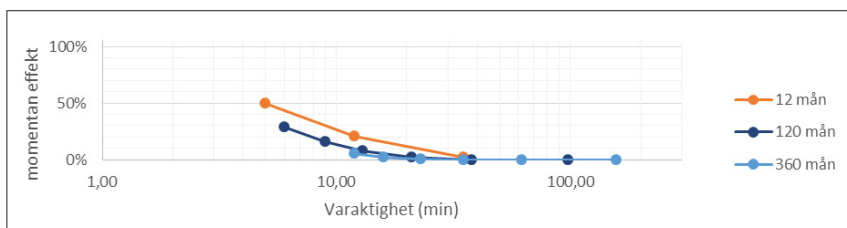
Svackdiken får i modellen en ganska jämn låg effekt för alla regn och varaktigheter, se Figur 6.12. Eftersom åtgärden avleder flöden så ses framförallt effekten av det som exfiltrerar. Effekten ökar för längre varaktigheter eftersom kvoten mellan regnets intensitet och exfiltrationshastigheten minskar med längre varaktigheter.



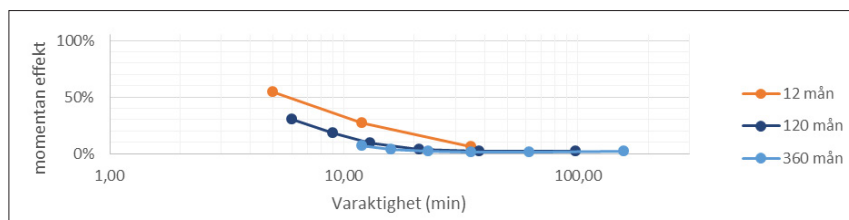
Figur 6.12 Svackdike med modellverktyget. Infiltrationshastighet går ej att styra i modellverktyget men ökar till max 200 mm/h med stigande vattennivå.

Permeabla ytor

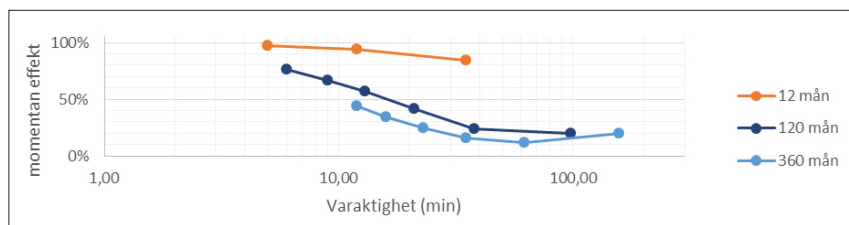
Låg- och medelpermeabla ytor får en försumbar effekt vid längre kraftiga regn då den initiala exfiltrationshastigheten sjunker med en tiopotens, se Tabell 5.7, men de har en viss effekt på kortvariga regn, se Figur 6.13 och Figur 6.14. Högpermeabla ytor, se Figur 6.15, har medelhög till hög effekt på alla regn.



Figur 6.13 Lågpermeabla ytor 0,36-0,036 mm/h. Medel första timmen 0,1 mm/h



Figur 6.14 Medelpermeabla ytor. 3,6-0,36 mm/h. Medel första timmen 1 mm/h

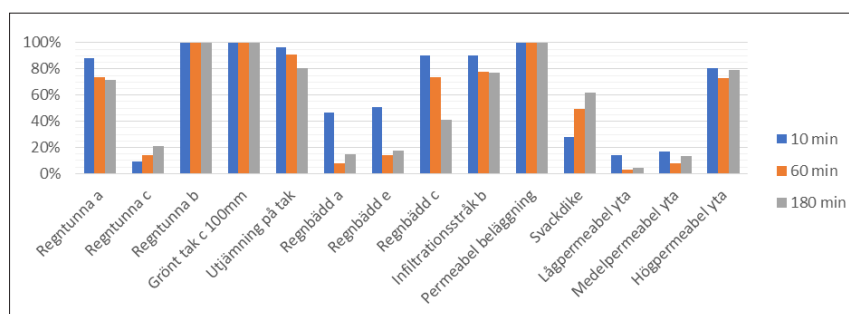


Figur 6.15 Högpermeabla ytor. 36-3,6 mm/h. Medel första timmen 10 mm/h

6.1.2 Resultat test av typregn

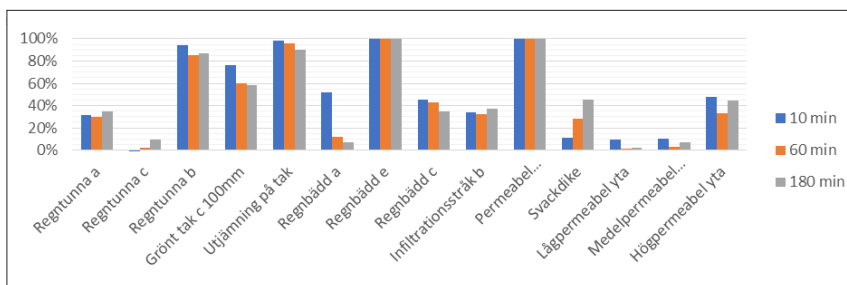
Vid testet har ett typregn av CDS-typ använts med 3 timmars varaktighet och ett centralt block på 5 minuter för återkomsttiderna 1 år, 10 år respektive 30 år använts. Det som utvärderas är effekten på maxflödet jämfört med ett referensflöde under avrinningstillfället. Det kan noteras att ettårsregnet i detta försök är kraftigare än det entimmes ettårsregn som anläggningarna dimensionerades för i och med att det har tre timmars varaktighet och ett kortare centralt block (tiden för den högsta intensiteten) och därmed en högre maxintensitet. Effekten på maxflöden för olika varaktigheter är god för de flesta åtgärder vid 1 årsregn men är bättre för korta varaktigheter än för längre på grund av åtgärdernas volym förbrukas av regnvolymen, se Figur 6.16. För högre återkomsttider på regn sjunker effekten men är trots att åtgärderna dimensionerats för lägre återkomsttider ändå substantiell, se Figur 6.17 och Figur 6.18 nedan.

1 år



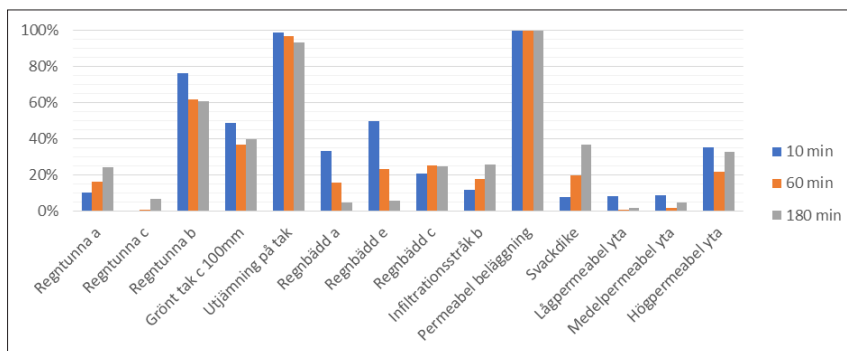
Figur 6.16 Maxflödeseffekt vid 1-årsregn för olika varaktigheter (10, 60 resp. 180 min). Från vänster: Regntunna a, Regntunna c, Regntunna b, Grönt tak c 100mm, Utgjämning på tak, Regnbädd a, Regnbädd e, Regnbädd c, Infiltrationsstråk b, Permeabel beläggning, Svackdike, Lågpermeabel yta, Medelpermeabel yta och Högpermeabel yta.

10 år



Figur 6.17 Maxflödeseffekt vid 10-årsregn för olika varaktigheter (10, 60 resp. 180min). Från vänster: Regntunna a, Regntunna c, Regntunna b, Grönt tak c 100mm, Utjämning på tak, Regnbädd a, Regnbädd e, Regnbädd c, Infiltrationsstråk b, Permeabel beläggning, Svackdike, Lågpermeabel yta, Medelpermeabel yta och Högpermeabel yta.

30 år



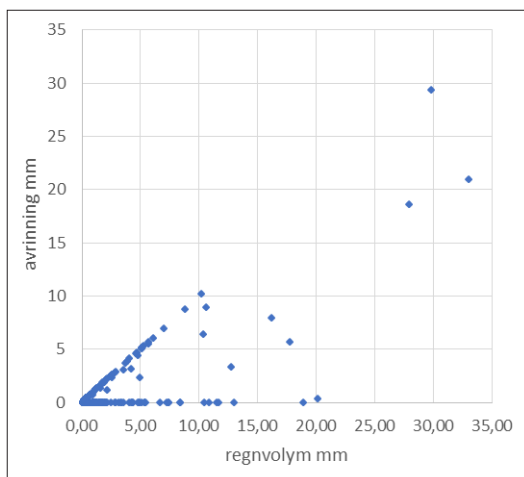
Figur 6.18 Maxflödeseffekt vid 30-årsregn för olika varaktigheter (10, 60 resp. 180min). Från vänster: Regntunna a, Regntunna c, Regntunna b, Grönt tak c 100mm, Utjämning på tak, Regnbädd a, Regnbädd e, Regnbädd c, Infiltrationsstråk b, Permeabel beläggning, Svackdike, Lågpermeabel yta, Medelpermeabel yta och Högpermeabel yta.

6.1.3 Resultat test kapacitet när regnet inträffar

Studier med Arvikas regnserie har visat på effekten av upptorkning mellan regntillfällen. Teoretiskt sätt kan en åtgärd ta emot ett visst antal millimeter innan den fyllts och avrinning sker. Sett till åtgärdens mättnadsgrad vid tillfället så kan för varje regntillfälle en förväntad avrinningsmängd i millimeter beräknas:

$$\text{Avrinning (mm)} = \text{regnets volym (mm)} - \text{åtgärdsdjup} \cdot (1 - \text{mättnads-\%})$$

(Avrinningen tilläts inte bli negativ)



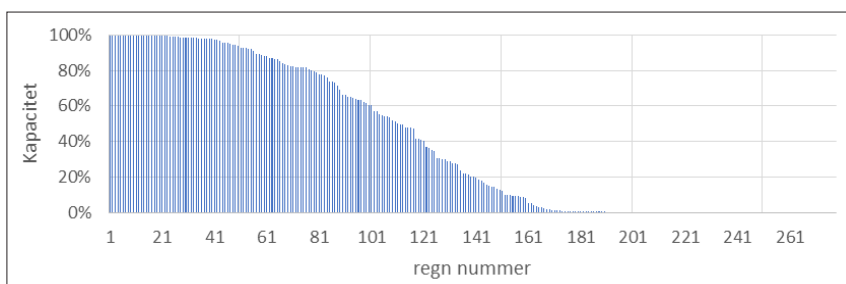
Figur 6.19 Beräknad avrinning från en åtgärd med 20 mm åtgärdsdjup vid olika regntillfällen under 1 år. De värden som ligger på diagonalen motsvarar en "full" åtgärd där allt som regnar blir till avrinning medan samtliga punkter längs x-axeln motsvarar alla tillfällen då åtgärdens kapacitet är tillräckligt stor för att kunna "svälja" hela regnet. Värdena däremellan motsvarar tillfällen då åtgärden har viss kapacitet att hantera regnet.

Figur 6.19 visar att försöket indikerar det är betydligt vanligare att det antingen är 100 % reduktion eller 0 % reduktion än att åtgärden ger en viss reduktion av avrinningen då åtgärdsdjupet är 20 mm. I Tabell 6.1 nedan visas en utvärdering för varierande åtgärdsdjup.

Tabell 6.1 Avrinningsreduktion vid regn för åtgärder med olika åtgärdsdjup på 20, 10 respektive 5 mm vid simulering med regn från SMHI:s station i Arvika och avdunstning för ett år.

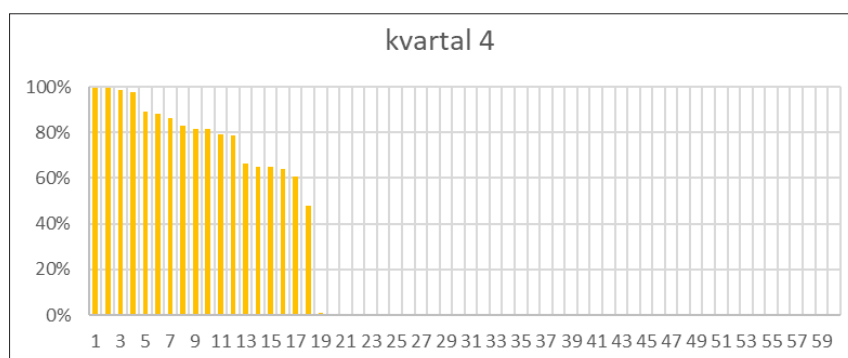
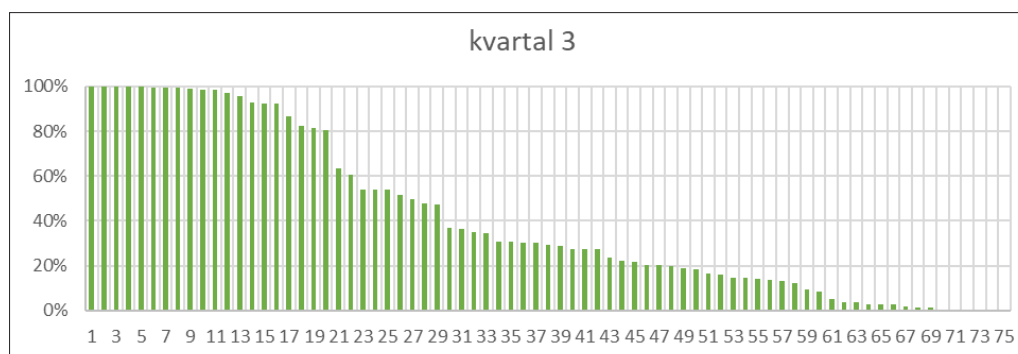
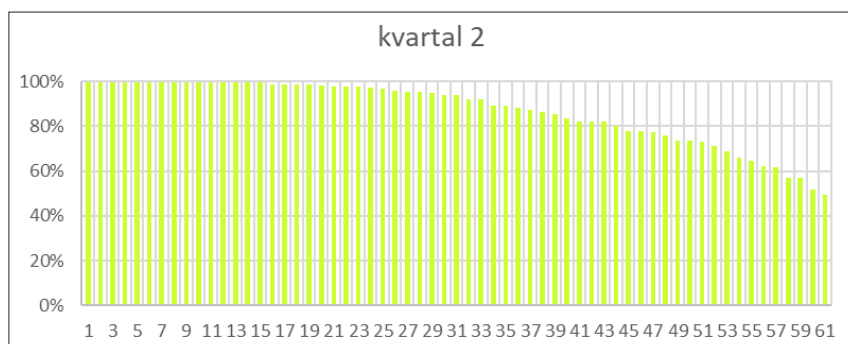
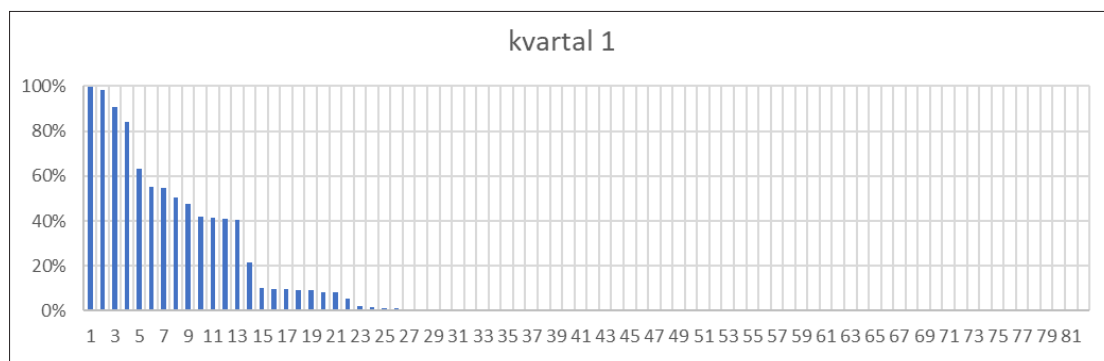
Flödesreduktion	20 mm	10 mm	5 mm
95-100 %	58 %	51%	44 %
5 %-95 %	8 %	25%	29 %
0-5 %	35 %	24%	27%

För varje regn kan jordsubstratets kapacitet plottas. Kapaciteten hos substratet definieras som hur fullt vätningsmagasinet är. I Figur 6.20 nedan visas simulerad mättnadsgrad i ett magasin med 20 mm åtgärdsdjup för ett helt år.



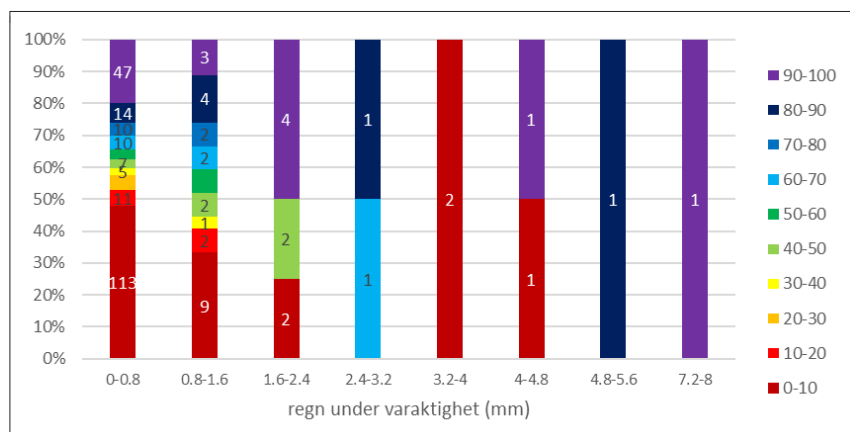
Figur 6.20 Kapacitet i åtgärder vid regntillfällen under årets alla regn för ett grönt tak med ett vätningsmagasin på maximalt 20 mm. På x-axeln visas antal regn (ej i kronologisk ordning) och på y-axeln kapacitet (alltså 100 %-mättnadsgrad).

Då den potentiella avdunstningen varierar under året så kommer åtgärder under vintern vara blötare än under sommaren vilket visas i följande figurer.

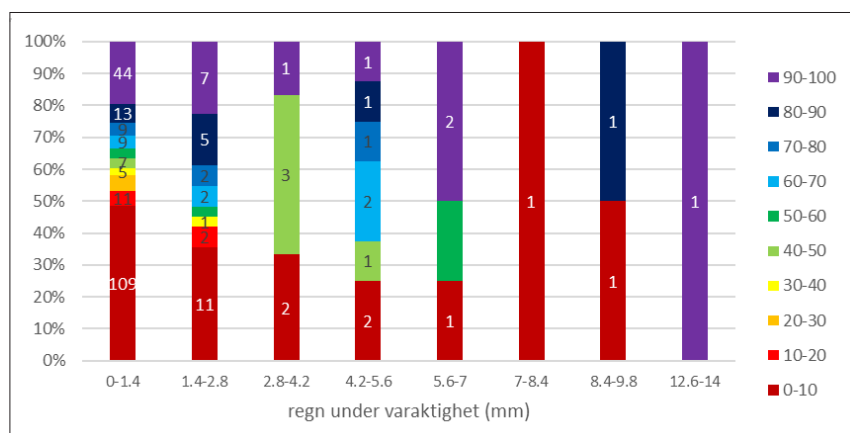


Figur 6.21 Kapacitet i åtgärder vid regntillfällen under olika årstider för ett grönt tak med ett vätningsmagasin på maximalt 20 mm. På x-axeln visas antal regn (ej i kronologisk ordning) och på y-axeln kapacitet (alltså 100 % mättnadsprocent).

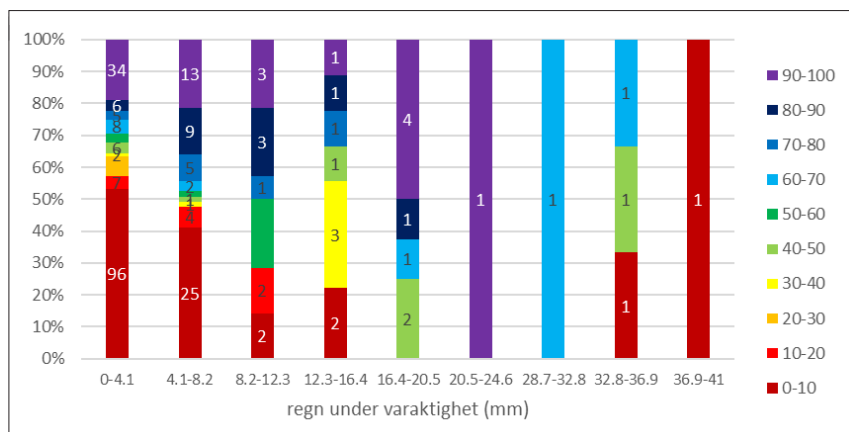
En annan intressant aspekt är hur kapaciteten sammanfaller med volymrika regn. I figurer nedan visas samband för max regnvolymer med olika varaktigheter från regnserien från Arvika och kapacitet i ett 100 mm substrat med fältkapacitet 0,3 och vissningskapacitet 0,2 (alltså 20 mm volym enligt modellens beräkningssätt). 100 % kapacitet innebär alltså att 20 mm regn kan tas upp av taket och 50 % att 10 mm regn kan tas upp av taket. I Figur 6.22 till Figur 6.24 visas kapacitet mot maximal blockregnvolymer för respektive regn. För det analyserade året så sammanfaller de kortare intensitetstopparna (15 och 60 minuter) med stor kapacitet (alltså torra lösningar) medan det för dygnsregnet är det omvända.



Figur 6.22 Staplarna visar hur den procentuella fördelningen av kapacitet i en åtgärd med 20 mm åtgärdsdjup vid regnstart ser ut för samtliga regn under 2015 (Arvika). Färgerna visar kapacitet i klasser om 10 %. Siffrorna på staplarna visar antal regn i statistiken. Data är uppdelat efter maximal regnvolymer per 15 minuter på x-axeln. Observera att vissa regnintervall kan saknas.



Figur 6.23 Staplarna visar hur den procentuella fördelningen av kapacitet i en åtgärd med 20 mm åtgärdsdjup vid regnstart ser ut för samtliga regn under 2015 (Arvika). Färgerna visar kapacitet i klasser om 10 %. Siffrorna på staplarna visar antal regn i statistiken. Data är uppdelat efter maximal regnvolymer per 60 minuter på x-axeln. Observera att vissa regnintervall kan saknas.



Figur 6.24 Staplarna visar hur den procentuella fördelningen av kapacitet i en åtgärd med 20 mm åtgärdsdjup vid regnstart ser ut för samtliga regn under 2015 (Arvika). Färgerna visar kapacitet i klasser om 10 %. Siffrorna på staplarna visar antal regn i statistiken. Data är uppdelat efter maximal regnvolym per dygn på x-axeln. Observera att vissa regnintervall kan saknas.

I Tabell 4.1 avsnitt 4.1.1 redogörs för en liknande studie som visar på hög sannolikhet att kunna "svälja hela" regnet. Sannolikheten befanns högre i ett varmare klimat och med ett tjockare grönt tak.

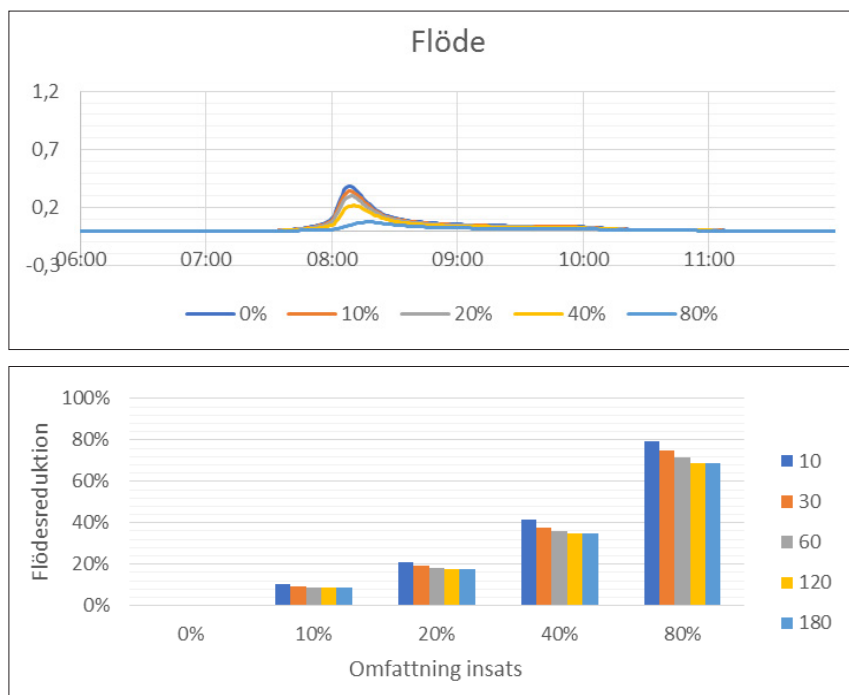
6.2 Del 2. Implementering i modeller

6.2.1 Resultat Test A: Olika grader av implementering

Olika grader av utbyggnad av åtgärder för trög avvattning i form av en mix av Regntunna b, Permeabel beläggning samt Infiltrationsstråk b enligt Tabell 5.6 har testats i Skattkärrmodellen och utvärderats mot CDS-regn med återkomsttid på 1, 12, 120 respektive 360 månader samt för regnserier från Arvika 2015 respektive Göteborg 2015. Initialt är mättnadsgraden i åtgärderna 0%.

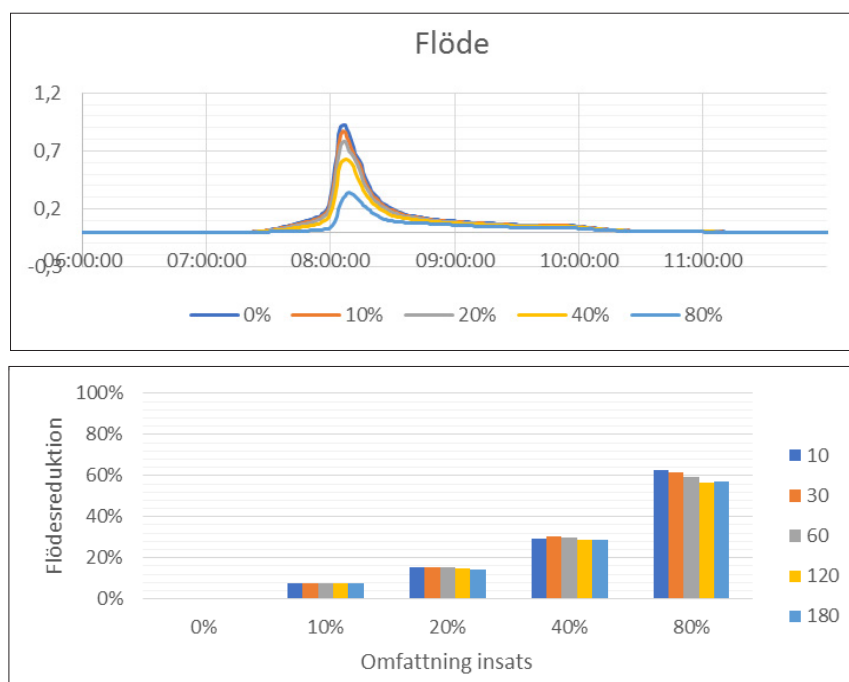
För 1-månadsregnet så erhålls en effekt som maximalt uppgår till implementeringsgraden för de kortaste återkomsttiderna. För längre varaktigheter går effekten ner. Troligen på grund av att magasinen för vätning mättas och att allt regn rinner igenom åtgärden, se Figur 6.25. För 1-årsregnet ses samma tendens till avtagande effekt för längre varaktigheter. Effekten är lägre än för 1-månadersregnet, se Figur 6.26. För 10-årsregnet och högre (Figur 6.27 och Figur 6.28) så saknar ledningsnätet kapacitet att avleda de högsta flödena (flödet blir konstant under en lång period). Av den anledningen syns låga effekter på maxflödet för korta varaktigheter (åtgärder som implementeras minskar flödet men det är fortfarande dämt så det syns ingen flödesförändring).

1 månadsregn



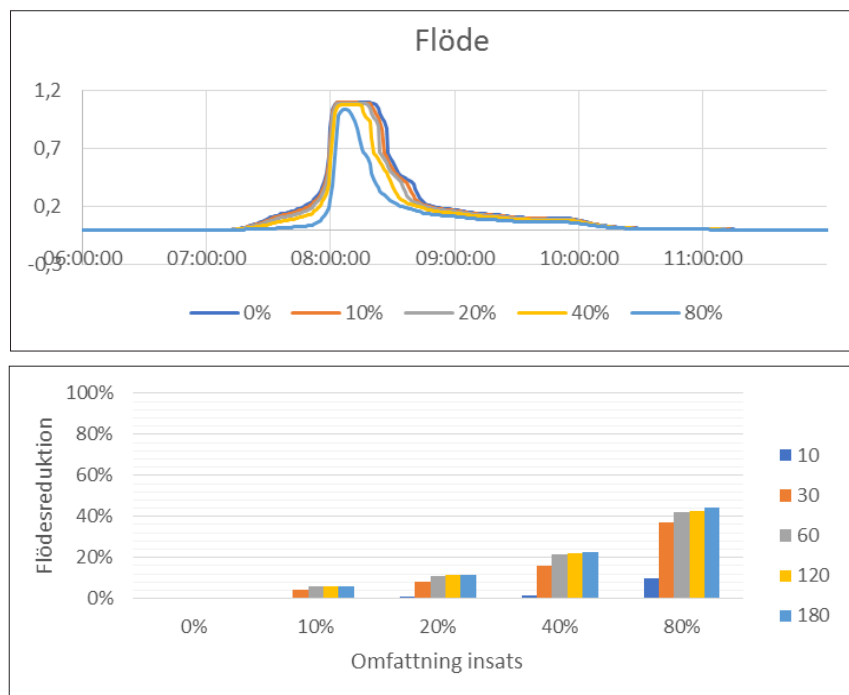
Figur 6.25 Flödessvar och flödesreduceringseffekt vid 1-månadersregn. Den ackumulerade effekten ses bäst genom att studera stapeln för 180 minuters varaktighet.

1-årsregn



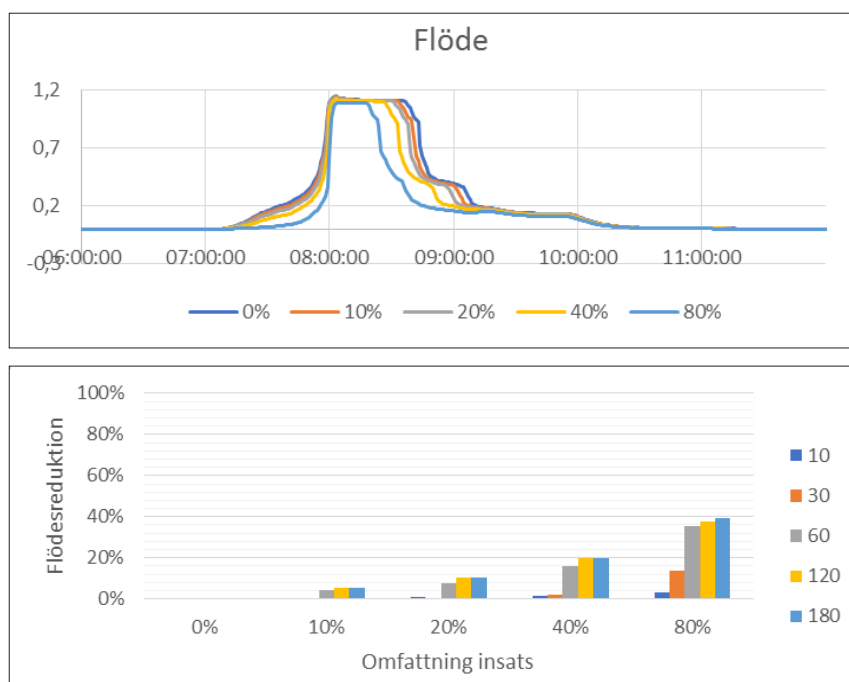
Figur 6.26 Flödessvar och flödesreduceringseffekt vid 1-årsregn för olika varaktigheter. Den ackumulerade effekten ses bäst genom att studera stapeln för 180 minuters varaktighet.

10-årsregn



Figur 6.27 Flödessvar och flödesreduceringseffekt vid 10-årsregn för olika varaktigheter. Den ackumulerade effekten ses bäst genom att studera stapeln för 180 minuters varaktighet.

30-årsregn



Figur 6.28 Flödessvar och flödesreduceringseffekt vid 30-årsregn för olika varaktigheter. Den ackumulerade effekten ses bäst genom att studera stapeln för 180 minuters varaktighet.

Modellsimulering för helår

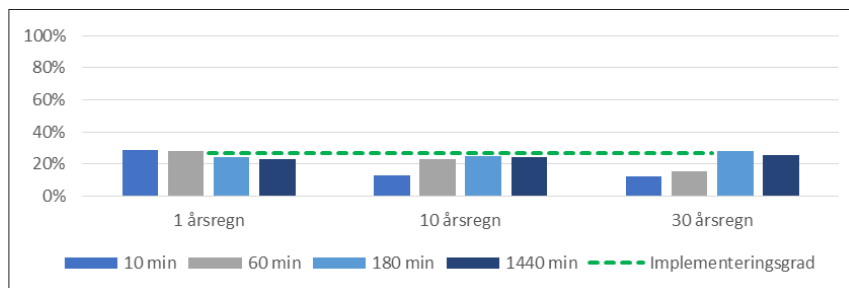
Resultatet av en analys på effekten olika implementeringsgrad av åtgärder har på total avrinning under året kan ses i Tabell 6.2. Verkningsgraden alltså effekt/implementeringsgrad låg på ca 75 %. Verkningsgraden var något lägre för Göteborgsregn än för Arvikaregn liksom något lägre för en hög implementeringsgrad än för en lägre.

Tabell 6.2 Modellsimulering med två olika regnårsserier – Arvika, resp. Göteborg 2015. Analys på total avrinning. Verkningsgrad sjunker något med ökad implementeringsgrad.

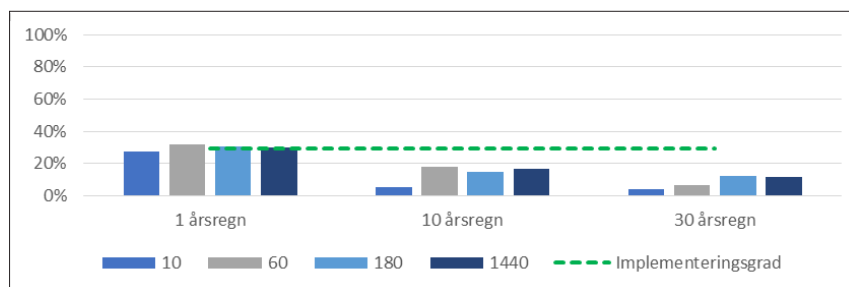
Modellsimulering med Arvikaregn 2015, 633 mm					
Implementeringsgrad	0 %	10 %	20 %	40 %	80 %
Total avrinningskoefficient	0,17	0,15	0,14	0,12	0,07
Effekt	0 %	8 %	15 %	30 %	59 %
Verkningsgrad	-	77 %	75 %	75 %	74 %
Modellsimulering med Göteborgsregn 2015, 1 033 mm					
Implementeringsgrad	0 %	10 %	20 %	40 %	80 %
Total avrinningskoefficient	0,18	0,16	0,15	0,12	0,07
Effekt	0 %	7 %	15 %	29 %	58 %
Verkningsgrad	-	75 %	73 %	73 %	72 %

6.2.2 Resultat Test B: Potential för implementering

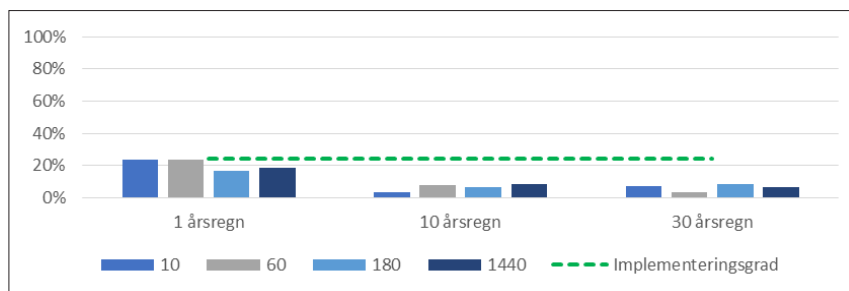
Effekten av en maximal implementering efter uppmätta ytor har testats för Gräsdalenmodellen där platta tak tilldelats åtgärden Utjämning på tak, lutande tak: Grönt tak c 100 mm och övriga hårdgjorda ytor Infiltrationsstråk b enligt Tabell 5.6. I figurerna nedan ser man att samtliga åtgärder har god effekt i förhållande till sin implementeringsgrad vid 1-årsregnet medan det för högre återkomsttider blir avsevärt lägre för de flesta åtgärderna.



Figur 6.29 Flödesreduktionseffekt vid olika varaktigheter vid åtgärd utjämning på tak på platta tak.



Figur 6.30 Flödesreduktionseffekt vid olika varaktigheter vid tillämpning av åtgärd grönt tak 7c till lutande tak.

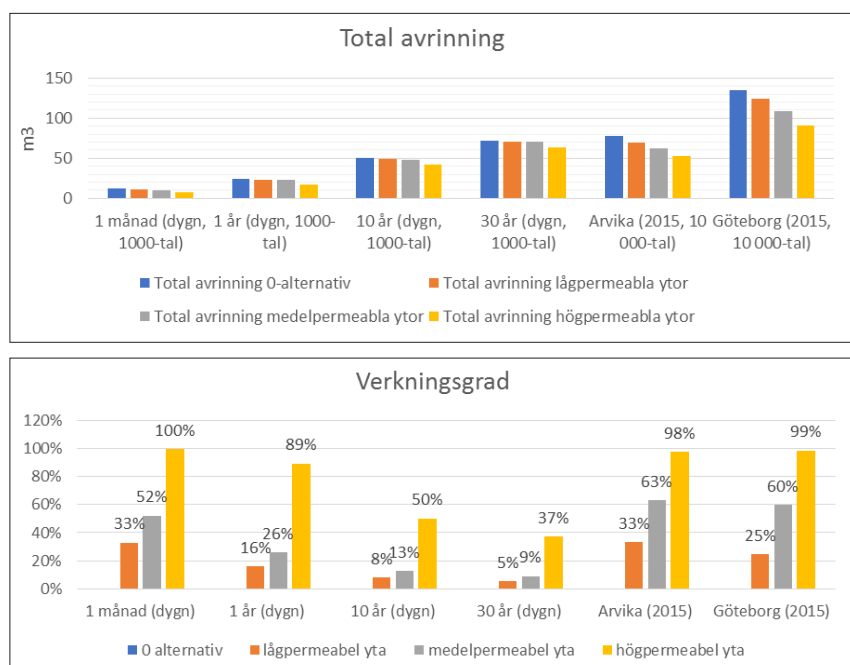


Figur 6.31 Flödesreduktionseffekt vid olika varaktigheter vid tillämpning av åtgärd infiltrationsdike b för övriga hårdgjorda ytor.

6.2.3 Resultat Test C: Ökad grönytefaktor/exfiltration

Test av en kraftigt ökad grönytefaktor (+33 %) har testats i Örgrytemodellen för permeabla ytor av olika grad.

Effekten av den ökade ”grönytefaktorn” i Örgrytemodellen visas i diagram nedan.



Figur 6.32 Total avrinning och verkningsgrad (flödeseffekt/implementeringsgrad) för total avrinning i Örgrytemodellen vid olika regn.

Några observationer:

- Verkningsgraden för en ökad grönytefaktor avtar med ökad återkomsttid
- Likvärdig effekt vid månadsregn och som vid modellsimulering med ett helt års regnserie.
- Trots stor skillnad i nederbördsmängd mellan Göteborg (1 033 mm) och Arvika (636 mm) så ändå ungefär samma verkningsgrad
- Lågt och måttligt låga exfiltrationshastigheter har liten effekt på häftigare regn. Hög exfiltrationsförmåga har effekt för alla regn.

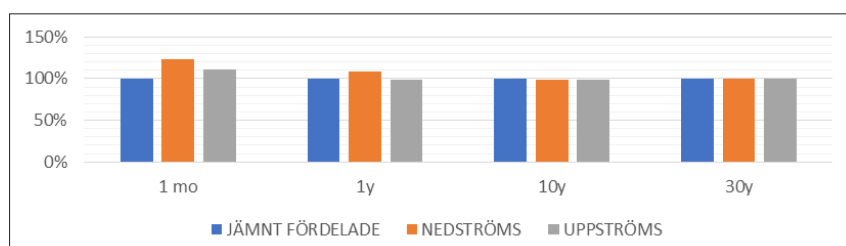
En stor del av effekten för de lågpermeabla lösningarna torde tillskrivas de tre mm som tilldelats de permeabla ytorna i extra tillskott för att göra dem likvärdiga de övriga åtgärderna.

6.2.4 Resultat Test D: Åtgärders distribution

Olika fördelning (jämn, uppströms, nedströms) av samma mängd åtgärder har testats för Skattkärrsmodellen. Två olika åtgärder testades: en regnbädd och samt regntunnor 200 l till 50 m² tak enligt Tabell 5.6. Implementeringsgraden uppgick till 40% av anslutna ytor

Regnbäddar

Maxflöden vid ett utlopp vid olika distribution av åtgärder (jämnt, nära utloppet samt långt uppströms) i området utvärderades vid regn med olika återkomsttid vid två punkter i ledningsnätet, se diagram nedan.



Figur 6.33 Relativa maxflöden i procent vid olika återkomsttider utifrån olika fördelning av åtgärdsdistribution och placering inom området vid försök med regnbäddar.

När det gäller regnbäddarnas fördelning ser man i figurer ovan att placering nedströms generellt sett ger högre maxflöden.

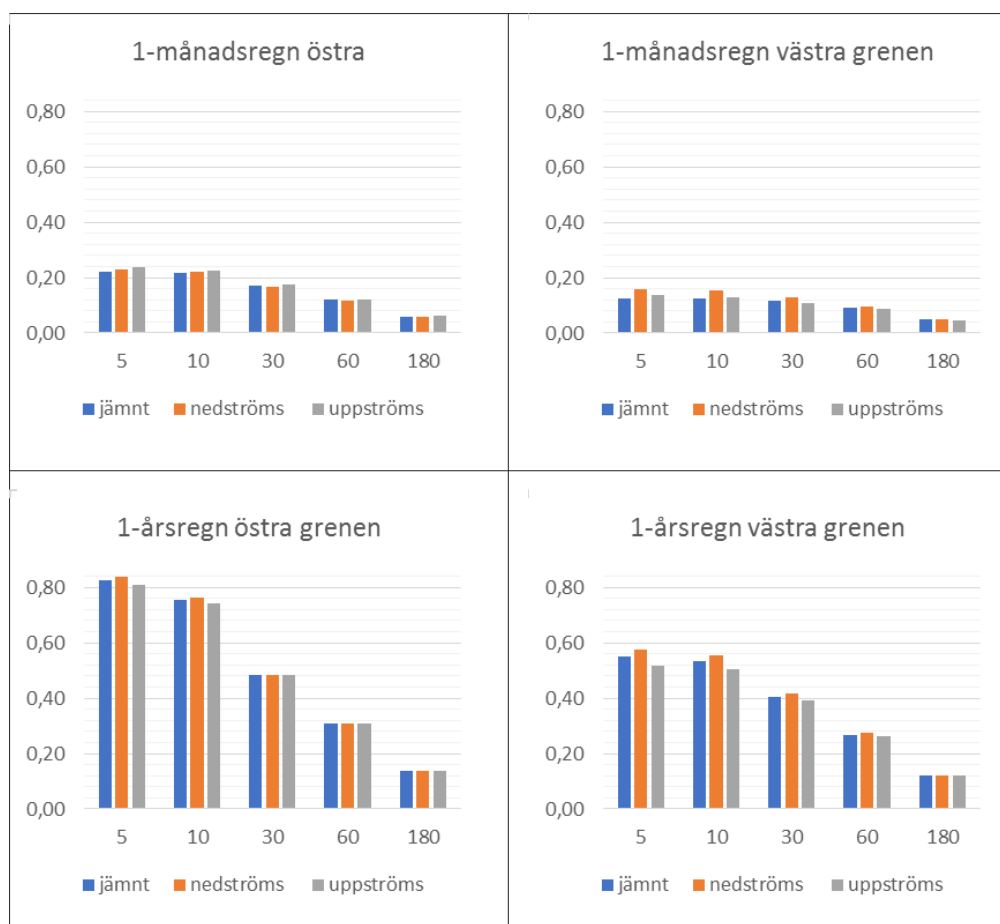
Regntunnor

Maxflöden vid olika varaktigheter utvärderades för utflödet i två grenar av Skattkärrsmodellen, se diagram i Figur 6.34.

När det gäller regntunnornas fördelning ser man i figurer ovan att det vid fördelning uppströms ger lägst flöden (störst effekt) vid 1-årsregnet. Vid månadsregnet verkar en jämn fördelning ge de lägsta flödena.

6.2.5 Resultat Test E: Teoretisk beräkning av nödvändig magasinsvolym

Nödvändig magasinsvolym för att reducera toppflöden från området i test A till 40 % respektive 80 % har beräknats med hjälp av Ekv. 4-2. I Tabell 6.3 och Tabell 6.4 visas den beräknade magasinsvolymen för olika återkomsttid på regnen. Ett vanligt dimensioneringskrav för dagvattenförande ledningsnät är att kunna hantera ett 10 årsregn (120 månader).



Figur 6.34 Maxflöden (m^3/s) vid olika varaktigheter 5–180 minuter vid implementering av olika fördelning av åtgärder. I detta fall regntunor 200 l. Utlopp från området analyserat i två utloppspunkter en östlig (Ö) och en västlig (V). Analys för månadsregn (överst) och 1-årsregn (nederst).

Tabell 6.3 Beräkning av nödvändig magasinsvolym för att reducera toppflöden med 40 % från ett område med 10 hektar reducerad area och ca 20–25 minuters rinntid.

Å mån	Reduktion %	q_{max} l/s	$q_{\text{reducerat}}$ l/s	V_{mag} m^3	T_{max} min
1	40 %	300	120	64	25
12	40 %	660	260	140	20
120	40 %	1 400	560	300	20
360	40 %	2 010	800	430	20

Tabell 6.4 Beräkning av nödvändig magasinsvolym för att reducera toppflöden med 80 % från ett område med 10 hektar reducerad area och ca 20–25 minuters rinntid.

Å mån	Reduktion %	q_{max} l/s	$q_{\text{reducerat}}$ l/s	V_{mag} m^3	T_{max} min
1	80 %	300	240	310	65
12	80 %	660	530	650	50
120	80 %	1 400	1 100	1 400	50
360	80 %	2 010	1 600	1 900	45

Volymerna kan jämföras med de volymer som krävs för att implementera de effekter som fås utifrån test A. För området som har 10 ha i reducerad area innebär en 80 % implementering att 8 ha har försetts med åtgärder. I Tabell 6.5 visas en beräkning på den totala skrymvolymen för åtgärderna i test A. Den totala skrymvolymen på åtgärderna är ca 8 000 m³ (lite beroende på hur man räknar djupet på en permeabel asfaltsåtgärd) ca 1 300 m³ om man endast tittar på regntunnor och infiltrationsstråk.

Tabell 6.5 Utvärdering av åtgärdsstorlek från test A vid 80 % implementering. Djup avser här det djup som tillsammans med åtgärdsarean ger skrymvolymen för åtgärden till skillnad från åtgärdsdjup som avser hur många millimetrar regn som åtgärden rymmer.

Utvärdering från test A	Djup m	Åtgärdsarea ha	Områdesarea ha	Volym m ³
Infiltrationsdike	0,4	0,3	2,4	1 200
Regntunna, 200 l	0,2	0,05	2,4	95
Permeabel beläggning	0,2	3,2	3,2	6 700
Summa		3,55	8,00	8 000

Man kan konstatera att volymsbehovet med magasinsformeln för en 80 % reduktion av flödet är $1\,400 / 8\,000 = 17,5\%$ av volymsbehovet för de implementerade åtgärderna i test A. Utvärderingen av skrymvolym för åtgärder vid 40 % implementering ger exakt hälften som visas i Tabell 6.5 vilket ger att volymsbehovet med magasinsformeln endast är $300 / 4\,000 = 7,5\%$ av volymsbehovet för de implementerade åtgärderna i test A.

6.3 Sammanfattning av resultat

Tabell 6.6 Sammanfattande tabell över resultat och observationer

Test	Observationer och kommentarer
Uthållighetstest	- Regntunnor ger effekt direkt proportionellt till deras storlek. En central fråga är hur fulla de är när regnet kommer. - Ett 100 mm grönt tak har i torrt skick stor kapacitet även vid 10-årsregnet. Hur ser mättnadsgraden ut vid det häftiga regnet? - Utjämning på tak är har stor effekt och är verksamt vid alla typer av regn. - Regnbäddar som dräneras till ledningsnätet har en bromsande effekt när belastningen på bädden är större än maximalt utflöde. Resultatet är lite svårtolkat då många faktorer spelar in: regnintensitet, hydraulisk konduktivitet, utjämningsvolym m.m. - Infiltrationsstråk bräddar vid högre belastningar - Permeabel beläggning tillräcklig kapacitet för alla regn bara beroende på sin uppbyggnad förutsatt att vattnet kan infiltrera tillräckligt snabbt. - Svackdiken får i modellen en jämn medeleffekt över hela förloppet. Effekten stiger för längre varaktigheter eftersom kvoten mellan regnets intensitet och infiltrationshastigheten minskar med längre varaktigheter. - Låg- och medelpermeabla ytor har försumbar effekt vid längre kraftiga regn men viss effekt på kortvariga regn. Högpermeabla ytor har effekt på alla regn.
Utvärdering vid designregn	- Dimensioneringen ger att effekten är god upp till dimensionerande regn. - De flesta åtgärder har större effekt vid korta varaktigheter än vid långa - Vissa åtgärder har så stor volym i förhållande till regnet att ingen avrinning sker och effekten blir 100 %

Test	Observationer och kommentarer
Kapacitet när regnet inträffar	- Under året varierar kapaciteten vid regnstart för åtgärder som har ett vattenhållande substrat. Minst kapacitet finns under kvartal 1 och mest under kvartal 2. - Finns det ett statistiskt samband mellan häftiga kortvariga regn och hög initial kapacitet i åtgärden? Utökade studier behövs.
Test A: Olika grader av utbyggnad	- Vid korta varaktigheter har åtgärderna ungefär samma effekt som sin implementeringsgrad - Vid mer långvariga regn avtar effekten vilket hänförs till att åtgärdens magasinvolym blivit helt utnyttjad. - För regn med högre återkomsttid blir flödesreduktionseffekten mindre för korta varaktigheter och ökar istället med ökad varaktighet - Sett till total avrinning för ett år där mättnadsgraden varierar i åtgärderna så blir effekten ca 75 % av implementeringsgraden. Något lägre för mer årsnederbörd och för högre implementeringsgrad.
Test B: Maximal implementering	- Väldigt god flödesreduceringseffekt för utjämning på tak. - Gröna tak har successivt lägre effekt vid högre återkomsttider eftersom de mätts. - Infiltrationsdiken har lägre effekt än gröna tak vid kortvariga häftiga regn.
Test C: Ökad grönytefaktor	- Märkbar effekt på total avrinning även vid en låg infiltrationskapacitet - Infiltrationskapaciteten till omgivande mark har stor betydelse för resultatet.
Test D: Åtgärders distribution.	- Inte helt entydiga resultat. Regnets intensitet har betydelse för "bästa fördelning" men det kan också skilja mellan olika grenar. - För kraftigare mer långvariga regn knappt någon skillnad - förmodligen för att åtgärderna går fulla. - En förväntad effekt där en distribution uppströms skulle vara den bästa uteblir. Däremot verkar en jämn fördelning ofta vara det bästa alternativet. Fördelning uppströms dock bättre än fördelning nedströms
Test E: Teoretisk beräkning av magasinvolym	Den magasinvolym som krävs för en viss flödesreduceringseffekt blir mindre än den skrymvolym som skulle krävas för att uppnå motsvarande effekt med distribuerade åtgärder för trög avvattnings.
Generellt	- Ofta syns effekten av rena volymförhållanden när effekten jämförs mellan olika återkomsttider på regn: Ett 10-årsregn är ungefär dubbelt så stort som ett 1-årsregn som är dubbelt så stort som ett 1-månadersregn - Initial vattenmättnad i olika åtgärder för trög avvattnings har mycket stor inverkan. Är åtgärden "torr" så kan många gånger hela regnet "sväljas" av åtgärden.

7 Slutsatser och diskussion

Denna studie har undersökt åtgärder för trög avvattning med hjälp av modellsimuleringar och utvärderat vad som har betydelse för de uppkomna flödenas fördröjning. Studien har gjorts för olika syntetiska regn med viss återkomsttid samt för verkliga regnserier från Arvika och Göteborg. I studien har olika åtgärder för trög avvattning simulerats med hjälp av inbyggda funktioner i modellverktyget Mike Urban. Studien har genomförts i två delar. I den första delen utformades åtgärder och deras prestanda testades. I den andra delen implementerades åtgärderna i modeller från Göteborg och Karlstad i test A till test D. Även en konventionell fördröjning har studerats som jämförelse med hjälp av den så kallade enveloppmetoden i test E. Utifrån studien dras slutsatser kring dimensionering av åtgärder, åtgärders effekter, skillnader mellan olika typer av åtgärder samt slutsatser kring simulering av trög avvattning i modellverktyg.

7.1 Åtgärders effekter

Det går inte genom studien att säga att vissa typer av åtgärder är bättre än andra. Huvudsakligen beror effekten för en åtgärd på hur den är dimensionerad i förhållande till det regn som faller. Så länge regnet är mindre än det dimensionerande regnet så erhålls en effekt som varar så länge tillhörande magasin inte är fullt. När det är fullt blir i regel utflödet från åtgärden lika stort som inflödet. I gynnsamma fall har redan regnskuren passerat sin mest intensiva fas men i andra fall kan magasinet ha fyllts redan innan den värsta skuren kommer. Detta kan inses med enkla samband som t.ex. Ekv. 4-1 och Ekv. 4-3. Till exempel så skulle en åtgärd som kan hantera ett 10 minuters ettårsregn (6,4 mm) nästan ha en 50 % effekt på ett 10 minuters tioårsregn (13,7 mm).

När åtgärder dimensioneras så bör man se till såväl tillåtet maxflöde som magasinsvolym. Det är bra att ange ytfaktorn för åtgärden och ange ett åtgärdsdjup i millimeter enligt avsnitt 4.1.3. för olika åtgärder.

Trög avvattning handlar om att såväl fördröja som att reducera den totala avrinningen från ett område. Då regnet har en areell utbredning så handlar det om att implementera åtgärder för betydande arealer av avrinningsområdet för att önskad effekt ska uppnås. Om till exempel en 25 % reduktion av toppflödet i ledningsnätet ska uppnås så måste minst 25 % av avrinningsområdet fångas upp med en åtgärd. Det går inte att få större effekt än implementeringsgraden. Åtgärden kan utformas på olika sätt – kan 25 % av området kopplas bort från ledningsnätet (test C) eller kan toppflödet begränsas med hjälp av trög avvattning (test A) eller hanteras med hjälp av konventionell magasinering i ledningsnätet (test E)?

Vid trög avvattning med mjuka ytor uppstår i regel ökade vätningsförluster jämfört med avvattning från hårdgjorda ytor. Sett över året erhålls en stor ackumulerad effekt på total avrinning då många regn är mindre

volymrika än åtgärdsdjupet men även under mer volymrika regn så kan effekten vara stor. Det är en variabel effekt som beror av regnhistoriken och hur mycket åtgärderna har hunnit torka upp mellan regnen, se avsnitt 6.1.3. Studier visar att det vintertid är blötare och att regnen då till större del rinner rakt igenom åtgärderna än under sommartid. Hur ser det då ut vid häftiga regn då intresset för flödesreduktion är som störst? En test med en av årsregnsserierna visade att det var fler av de intensiva regnen som helt kunde absorberas av åtgärden för trög avvattning än de regn som rann rakt igenom men fler studier behövs. En teori är att häftiga åskregn ofta kan föregås av torrperioder. Implementeringen av trög avvattning i ett område bör kunna öka motståndskraften vid skyfall på grund effekten från vätningsförlusten men det är inget man säkert kan räkna med vid dimensionering av sitt ledningsnät.

Exfiltration och infiltration till mark har en stor ackumulerad effekt avseende total avrinning även om den inte alltid har kapacitet att hantera häftiga regn, se test C. Möjligheten till exfiltration från åtgärder bör därför alltid säkerställas. Studien gjordes med hjälp av uppgifter från Sveriges Geologiska Undersökning och avser underliggande marklager. Hur många millimetrar kan den ditforslade anläggningsjorden och andra fyllnadsmassor hantera?

Distribution av åtgärder inom ett område bör göras med hänsyn till var problem i ledningsnätet uppstår. Test D gav inte helt entydiga resultat men det var generellt sämst att placera åtgärder långt nedströms i området. Det var bättre att eftersträva en jämn fördelning eller en placering längre uppströms i området. Skillnaden i effekt från olika distribution uppkom i kombinationen mellan fördröjning av flöden och rinntid till olika punkter i ledningsnätet.

Om man endast ser till flödesutjämnningseffekten så är sannolikt ett utjämningsmagasin i ledningsnätet (test E) effektivare och förmodligen billigare än att implementera många utlokaliserade åtgärder för trög avvattning.

Slutsatser kring åtgärders effekter i punktform:

- En åtgärd har effekt efter sin dimensionering.
- Åtgärder i ett område ger effekt upp till implementeringsgraden inom området.
- Full effekt upp till dimensionerande situation därefter viss ackumulerad effekt
- Möjlighet till infiltration i omgivande mark har stor ackumulerad effekt över året liksom effekt från vätningsförluster.
- Infiltration till omgivande mark och vätningsförluster har en potentiellt stor effekt på flöden. Men effekten varierar beroende på regn och avdunstning under året.
- Ett konventionellt utjämningsmagasin kan vara mer effektivt för att enbart reducera flöden.

7.2 *Principiella skillnader mellan olika typåtgärder*

En tom utjämningsvolym är naturligtvis större än en volym som innehåller någon form av vattenhållande substrat och kan därmed ha en större utjämnningseffekt men samtidigt saknar den förmågan att reducera den totala avrinningen eftersom allt rinner rakt igenom. Ett enkelt utjämningsmagasin med strypt utflöde avseende den avrinning som uppkommer för en viss återkomsttid på regn har ingen effekt för på de flöden som uppkommer vid regn under denna återkomsttid. En tom utjämningsvolym är alltså mer volymseffektiv men saknar samtidigt de alternativa värden som en grön yta kan medföra i form av grönska och inverkan på stadsklimatet.

En substratfylld volym kommer oftast att ge någon form av större vätning förlust vid regn jämfört med en hårdgjord yta. Men i vissa fall är substratet redan mättat av tidigare regn och volymen redan förbrukad. Så en ökning av andelen substratfyllda volymer kan ha en stor effekt vid kraftiga regn men är ingenting man kan räkna med.

Åtgärder med en ytfaktor på 1 – det vill säga åtgärder som bara tar hand om det regn som faller direkt på åtgärden klarar i regel av att ta hand om korta intensiva regn. Det sker sällan någon ”bräddning” från sådana utan infiltrationskapaciteten är i regel tillräcklig jämfört med regnet. För effekter av åtgärder vars tillrinningsyta är flerfaldigt större än sin åtgärdsyta så blir infiltrationskapaciteten fort begränsande när tillrinningsområdet ökar. I regel förses sådana lösningar med en utjämningsdel med bräddfunktion som träder i kraft när dimensionerade volymer fyllts upp.

En annan aspekt att beakta är att vissa åtgärder kan utgöra en alternativ utformning av det som ska byggas och innebär inga större extra kostnader (som till exempel anläggning av permeabel beläggning eller fördröjning av regn på täta tak) medan vissa åtgärder blir ett tillägg till redan befintliga anläggningar för avvattning av samhället (som till exempel regnbäddar). Åtgärden blir då en extrakostnad så länge inte de allmänna anläggningarna kan dimensioneras ned med hänsyn till åtgärdens anläggande. Detta kan ofta vara vanskligt eftersom det inte är säkert att man kan räkna med åtgärdernas effekt även i framtiden.

Ytterligare en aspekt är vem som står för kostnaden. Många åtgärder som regntunnor, gröna tak m.m. hamnar inne på fastigheter medan andra åtgärder som till exempel permeabel beläggning lämpar sig bättre för anläggning på allmänna ytor. VA-huvudmannen kan ha svårt att påverka vad som anläggs på privat mark och allmänna ytor men har rådigheten att själv anlägga nödvändiga åtgärder i ledningsnätet.

7.3 *Om den teoretiska konstruktionen av studien*

En generell problematik i en teoretisk utvärdering av åtgärders effekter är att man får de resultat man bereder – om man testar en väldimensionerad åtgärd så har den förstås stor effekt jämfört med en klen dimensionerad åtgärd – ”som du (regn)bäddar får du ligga”. Den observerade effekten är

så klart direkt kopplad till åtgärdens dimensionering – är den dimensionerad för ett ettårsregn så har den god effekt på ett ettårsregn.

För att genomföra studien har ett samband tagits fram för översättning mellan olika metoder för att beräkna avrinning i modellverktyg. Det handlar om att överföra en tid-areamethod till en metod som tillämpar Mannings formel. Det svåra är att översätta koncentrationstiden i den första metoden till en karakteristisk längd i den andra. Ett generellt sådant samband togs fram i avsnitt 5.7.3. Sambandet tros kunna bli användbart för de som vill tillämpa de inbyggda funktionerna i modellverktyget i befintliga ledningsnätmodeller som tillämpar tid-area metoden.

Då denna studie är teoretisk så är en central fråga ifall de modellverktyg som används lyckas beskriva verkligheten på ett korrekt sätt:

1. Är den fysikaliska beskrivningen korrekt?
2. Vilka värden ska sättas på viktiga parametrar?

När det gäller den fysikaliska beskrivningen så uppkommer ett antal frågor. Hur snabbt kan vatten strömma in och igenom olika substrat? Kommer vatten att dämma på ytan eller direkt börja mätta substratet. Flödar det jämnt genom hela substratet som ett kolvflöde eller uppstår kanalisationer och ”genvägar”? Hur fungerar det ifall ytan är frusen? Kommer vattenhalten att sjunka till vissningsgränsen med samma upptorkningshastighet för ett tjockt som för ett tunt substrat? Utvärderingen av regnbäddarna i avsnitt 4.6 antyder att verkligheten kan vara mer komplex än modellverktygets beskrivning.

Åtgärder som gröna tak, infiltrationsstråk, diken och permeabla beläggningar inbegriper lite mänsklig interaktion och går att simulera enbart på basis av regn och avdunstning data. För regntunnor och olika planterade regnbäddar däremot påverkas vatteninnehållet i åtgärden av vattenanvändning och bevattning på ett sätt som är svårt att beskriva med ett modellverktyg.

Vad som händer när åtgärderna är fulla är också en fråga som har betydelse – i modellverktyget har fokus riktats mot ledningsnätet och en full åtgärd innebär alltid att bräddning sker till ledningsnätet. Sättet som åtgärder är uppbyggda i modellverktyget är kanske inte alltid förenligt med hur det ser ut i verkligheten. Anlagda svackdiken, nedsänkta växtbäddar, infiltrationsstråk m.fl. har nog i verkligheten ofta en sådan anlagd bräddfunktion t.ex. i form av en upphöjd kupolbrunn men när det gäller olika permeabla beläggningar så saknas ofta bräddmöjlighet vilket medför att vatten istället hamnar på ytan utan att belasta ledningsnätet. Vad händer med åtgärder inne på tomtmark – kommer de att rinna ut på gatan och tas och avvattnas av rännstensbrunnar? De funktioner som finns för att simulera regnvattentunnor i modellverktyget väcker också frågeställningar. En full vattentunna i modellverktyget bräddar till ledningsnätet. Så kan det vara anordnat i verkligheten, där en full vattentunna vars stuprör förr leddes till dagvattennätet då bräddar tillbaka till detta, men ofta kommer det nog att i stället rinna ut i trädgården. Modellverktyget är utformat så att regntunnorna mellan regntillfällen töms till ledningsnätet vilket nog får antas

stämma mycket dåligt med verkligheten. För att kringgå detta användes en annan åtgärdsstyp med exfiltration istället men med samma egenskaper i övrigt.

Värden för viktiga parametrar kan vara svåra att få tag på. Materialspecifika egenskaper som porositet, fältkapacitet och hydraulisk konduktivitet har stor betydelse för effekten samtidigt som det kan vara svårt att få tag på tillförlitliga data på detta. Porositeten är ofta enklare att få tag på än de övriga. Hydraulisk konduktivitet går det också att hitta värden på men ofta handlar det om den mättrade konduktiviteten. Hur konduktiviteten ser ut initialt kan ha betydelse för åtgärder med en stor ytfaktor. Fältkapacitet är inte heller ett värde som brukar redovisas för olika material.

Fysikaliska parametrar som exfiltrationsförmåga till omgivande mark är av stor betydelse. Denna varierar stort såväl under året som mellan olika platser. Modellverktygets åtgärder har väldigt förenklade modeller av funktionen och är nog mer anpassade till att beskriva hur åtgärden fungerar vid ett enskilt regn än att beskriva den långvariga funktionen där kapaciteten beror stort av interaktionen med omkringliggande marklager.

7.4 Rekommendationer för val av strategi

Minskning av höga dagvattenflöden handlar rent krasst hur stora ytor som omfattas av åtgärd, det vill säga implementeringsgraden, och hur väl dessa är dimensionerade. Det går helt enkelt inte att trola bort vattnet och man kan inte ha en övertro på enskilda åtgärders effekt.

Att åstadkomma en hållbar dag- och dränvattenhantering är enklare vid nyexploatering än när befintliga områden ska åtgärdas men strategin för implementering bör vara den samma:

Att *koppla bort ytor som belastar ledningsnätet* är den effektivaste åtgärden eftersom den helt tar bort flödet från systemet oavsett regnets återkomsttid. Det kan många gånger vara en billig åtgärd som antingen kan åläggas den som tillför dagvattnet eller en ”felkoppling” som enkelt kan kopplas bort utan ytterligare insatser.

Öka vätningsförluster där det går. Det handlar om att öka grönytefaktorn och att verka för en mindre andel av hårdgjorda ytor inom ett område. Det kan också handla om att ge möjlighet till infiltration även i de fall där dagvattnet slutändan leds till ledningsnätet – till exempel att vägen först leds till ett dike som avvattnas via en kupolbrunn när nivån stiger. Mjuka ytor har en stor potential att kunna svälja många millimeter vatten vid regn under perioder med hög avdunstning. Effekten går inte att säkert räkna med men dämpar risken för höga flöden i ledningsnätet.

Verka för att *implementera åtgärder för trög avvattning*. Denna del är svårare där frågor om rådighet, vem tar kostnaden blir högaktuella. Åtgärder placeras ofta på privat eller allmän mark och behöver inte kosta något för VA-huvudmannen men kan å andra sidan vara svårt att driva igenom. För att nå effekt kan taxekonstruktion och dagvattenstrategi vara viktiga

verktyg liksom kampanjer som t.ex: "Gör plats för dagvattnet", "Säkra grundvattenbildningen" etc.

Avled och utjämna överskottet vid behov. Diken har bättre kapacitet än rör och är samtidigt en form av trög avvattning där också en stor del kommer att infiltrera i mark. Vid behov får utjämningsanordningar i ledningsnätet också planeras.

Hur det allmänna ledningsnätet bör dimensioneras med hänsyn till planerade och befintliga åtgärder för trög avvattning är en svår fråga. Effekten från det som förläggs i allmän platsmark och som del av VA-nätet kan man i viss mån säkerställa men hur ska man kunna räkna med det som anläggs på privat mark. Hur kan den tröga avvattningens funktion säkerställas för framtiden? Ur ett samhällsekonomiskt perspektiv skulle det vara bäst ifall dimensioneringen av de avledande systemen kunde dimensioneras med hänsyn till vidtagna åtgärder.

7.5 Förslag till fortsatta studier

Fortsatta studier bör fokusera på att verifiera hur väl modellverktygen beskriver verkligheten och hur denna beskrivning kan göras bättre. Det är också angeläget att genomföra studier och sammanställningar av värden på viktiga parametrar som behövs för modellverktygen.

Några förslag på fortsatta studier:

- Uppföljning av mätningar för olika åtgärdstyper och kalibrering av modellverktygens parametrar.
- Studier för att ta fram tillförlitliga data på materialspecifika egenskaper som porositet, fältkapacitet och konduktivitet m.fl.
- Långtidsstudie över mätnadsgrad och avrinning för åtgärder i fält. Vilken effekt har en åtgärd för trög avvattning vid olika tillfällen under året på grund av olika faktorer som regn, temperatur, snö, tjäle, skötsel m.m.
- Studier kring effekten hos mark som är grön men inte betraktas som en åtgärd. Hur mycket vatten infiltreras, när fungerar inte infiltration? Hur inverkar topografi, in- och utströmningsområden m.m. och hur bör det implementeras vid modellsimuleringar.

8 Referenser

- Andersson, J., & Åkerman, S. (2016). *Kostnadsberäkningar av exempel-lösningar för dagvatten (åt Stockholms Stad)*. WRS. Hämtat från <https://insynsverige.se/documentHandler.ashx?did=1861340> 2019-03-03
- Andersson, V., Brandén, J., Wallberg, E., & Werner, A. (2016). *Regnvattentunnor – framtidens dagvattenhanteringslösning i Göteborg?* Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Bäckström, M., & Forsberg, C. (1998). *Norrländsk gatusektion – vårar utan översvämningar och tjälskott*. Luleå Tekniska Universitet. Svenska Kommunförbundet.
- Dahlström, B. (2010). *Regnintensitet – en molnfysikalisk betraktelse*. Svenskt Vatten Utveckling.
- DHI. (2017). *Mike Urban* <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban>. DHI.
- EPA. (den 29 05 2018). *National Stormwater Calculator*. Hämtat från www.epa.gov: <https://www.epa.gov/water-research/national-stormwater-calculator>
- EPA. (2020). *Storm Water Management Model-SWMM*. Hämtat från <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>
- Eriksson, B. (1981). *Den "potentiella" evapotranspirationen i Sverige*, RMK28. SMHI.
- Gröna takhandboken. Ett Vinnovafinansierat samverkansprojekt mellan näringsliv, offentlig sektor och forskningsinstitut*. (u.d.). Hämtat från <https://gronatakhandboken.se/> 2019-03-20
- Junker, B. (2013). *Håndtering af regnvand*. Agrotech A/S.
- Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad. (2019). *Åtgärdsplan Avlopp – Bräddning. Redovisning av förslag för att minska mängden bräddning mellan 2020–2029*.
- Leonhardt, G. (2018). Förhandsuppgifter kring utförd utvärdering av regnbäddar av Luleå Tekniska Universitet.
- Malmberg, J. (2018). Kommunikation med Jonatan Malmberg, Intendent & projektledare på Scandinavian Green Roof Institute.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (2018). *Översyn av områden med betydande översvämningsrisk*.
- Olsson, B. E. (2017). *Extremregn i nuvarande och framtida klimat*, Klimatologi nr 47. SMHI.

- Olsson, J., Berg, P., Eronn, A., Simonsson, L., Södling, J., Wern, L., & Yang, W. (2017). *Extremregn i nuvarande och framtida klimat*. Klimatologirapport nr 47. SMHI.
- Pramsten, J. (2015). *Beskrivning av några enkla infiltrationsförsök utförda i Norra Ängby 2015*, Bilaga G till rapport 15SV737. Stockholms Stad.
- Pramsten, J. (2015). *Inventering och analys av kunskapsunderlag avseende infiltration på grönytor*. Bilaga F till rapport 15SV737. Stockholms Stad.
- Pramsten, J. (2018). *Hydrologisk dimensionering av buffertmagasin för dagvatten*, C_SVOA_180312. Stockholm Vatten och Avfall. Svenskt Vatten Utveckling.
- SGU. (2018). *Produktbeskrivning för GIS lagret Genomsläpplighet*. Hämtat från <http://resource.sgu.se/dokument/produkter/genomslapplighet-wms-beskrivning.pdf>.
- SMHI. (den 03 03 2019). *Gröna tak fördjupning*. Hämtat från <https://www.smhi.se/klimat/klimatanpassa-samhallet/exempel-pa-klimatanpassning/grona-tak-fordjupning-1.116956>
- Stockholms Stad. (2016). *Dagvattenhantering Åtgärdsnivå vid ny- och större ombyggnation*. Hämtat från http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/atgardsniva_v1-1-fi.pdf
- Sundin, S., Alm, H., & Persson, I. (2016). *Dagvattennytta i befintlig miljö*. Sweco. Grön Nano: 2016:10.
- Svenskt Vatten. (1983). *Lokalt omhändertagande av vatten – LOD*. Publikation P46.
- Svenskt Vatten. (2011). *Hållbar dag- och dränvattenhantering*, P105. Svenskt Vatten.
- Svenskt Vatten. (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten*, P110. Stockholm: Svenskt Vatten.
- Svensson, G., & Tegelberg, L. (2013). SVU 2013-05 *Utvärdering av Svenskt Vattens rekommenderade sammanvägda avrinningskoefficienter*. Svenskt Vatten.
- Sörelius, H., von Scherling, M., & Karlsson, L. (2020). *Utvärdering och erfarenheter från skötsel och drift av biofilter*. Ej publicerad.
- von Scherling, M. (2018). *Ungefärliga kostnader för privat anläggande i samband med eget husbygge*.
- von Scherling, M. (2018). *Utvärdering av kostnader för regnbädd vid HSB Living LAB*.
- von Scherling, M. (2019). *Effekt av gröna tak, utvärderat för projektet Environmental Return of Investments*. Ej publicerad.

Bilaga 1. Modelluppsättning för implementerade åtgärder i modellverktyg

Åtgärdsbeskrivning i modellverktyg

Kategori	MUID	Regn- bädd a	Regn- bädd c	Regn- bädd e	Permeabel beläggning	Infiltrations- stråk b	Regn- tunna a	Regn- tunna b	Regn- tunna c	Utiämning på tak	Svackdike	Grönt tak c	Enhet	Förklaring
	LIDTypeNo	1	1	1	3	3	3	3	3	4	5	7	-	LID-typ, se förklaring nedan
Ytmagasin	StorHt	138,5	138,5	200	0	0	0	0	0	0	500	0	mm	Ytmagasin
Ytmagasin	VegFrac	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,05	0,3	-	
Ytmagasin	Rough	10	10	10	50	10	10	10	10	10	10	10	m ^{0,33} s ⁻¹	Mannings tal
Ytmagasin	Slope	1	1	1	1	5	1	1	1	1	5	1	-	
Ytmagasin	Xslope	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	%	
Mellanmagasin	SThick	462	462	500	100	100	100	100	100	100	100	100	mm	Mellanmagasin
Mellanmagasin	Por	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	-	Porositet (mellanmagasin)
Mellanmagasin	FC	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	-	
Mellanmagasin	WP	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-	
Mellanmagasin	Ksat	(10)	(10)	(10)	10	10	10	10	10	10	10	10		
Mellanmagasin	Kcoeff	(10)	(10)	(10)	10	10	10	10	10	10	10	10		
Mellanmagasin	Suct	(10)	(10)	(10)	10	10	10	10	10	10	10	10		
Mellanmagasin (Permeabel beläggning)	PThick	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	mm	Mellanmagasin (Permeabel beläggning)
Mellanmagasin (Permeabel beläggning)	PVratio	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	-	Porositet (Mellanmagasin Permeabel beläggning)
Ytmagasin (Permeabel beläggning)	FracImp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
Mellanmagasin (Permeabel beläggning)	Perm	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	mm/h	Perkolationshastighet (Permeabel beläggning)
Mellanmagasin (Permeabel beläggning)	PVclog	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
Djupmagasin	Height	200	400	200	160	394	1 231	200	3 000	60	100	100	mm	Djupmagasin
Djupmagasin	SVratio	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1	1	1	0,25	0,25	0,25	-	Porositet djupmagasin
Djupmagasin	Filt	0	1	0	10	1	2,44	1,19	2,98	10	10	10	mm/h	Exfiltrationskapacitet
Djupmagasin	SVclog	0	0	0	0	0	(0)	(0)	(0)	0	0	0	-	
Dränering	DrainNo	0	0	0	0	0	(0)	(0)	(0)	0	0	0	-	
Dränering	Coeff	1 000	1 000	1 000	0	0	(0)	(0)	(0)	1,1	150	0	mm/h	Dräneringshastighet (till ledningsnät)
Dränering	Expon	0,5	0,5	0,5	0	0,5	(0)	(0)	(0)	0	0,5	0,5	-	
Dränering	Offset	0	369	0	0	0	(0)	(0)	(0)	0	0	0	mm	
Djupmagasin	Delay	72	72	72	72	72	72	0	72	0	72	72	h	Fördröjning tömning (regntunna)



Kategori	MUID	Regn- bädd a	Regn- bädd c	Regn- bädd e	Permeabel beläggning	Infiltrations- stråk b	Regn- tunna a	Regn- tunna b	Regn- tunna c	Uti-jämning på tak	Svackdike	Grönt tak c	Enhet	Förklaring
Dräneringsmatta	DMThick	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	mm	Dräneringsmattemagasin (gröna tak)
Dräneringsmatta	DMVFraction	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-	
Dräneringsmatta	DMRough	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	m ^{0.33} s ⁻¹	Mannings tal
Mellanmagasin	FlowMethod	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-	
Mellanmagasin	LeakageCapacity	600	100	600	10	10	10	10	10	10	10	60	mm/h	Perkolationskapacitet
Mellanmagasin	InfiltrationCapacity	1000	600	1000	200	200	200	200	200	200	200	200	mm/h	Infiltrationskapacitet
Dränering	Drain- Capacitymethod	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
Dränering	DrainCapacityArea	(0)	(0)	(0)	0	0	0	0	0	0	0	0	-	

Blått anger magasin djup i mm och grönt anger hastigheter i mm/h.
 Grå text markerar att värdet finns i tabellen men inte används för LID typen.
 () anger att parametern inte används eller inte är aktiverad p.g.a. att en annan metod valts med hjälp av switch som t.ex. drain no.
 LID-typ: 1: Bio Retention Cell, 2: Porous Pavement, 3: Infiltration Trench, 4: Rain Barrel, 5: Vegetative Swale, 6: Rain Garden, 7: Green Roof.
 Kommentar: För flera olika åtgärder visade sig LID-typ 3 vara mer lämpad att modellera åtgärden både avseende stabilitet och tömningsfunktioner (regntunnor).

Åtgärdsimplementering i modellverktyg

MUID	1aBRC	1cBRC	2aPoPa	4aRaBa	4bRaBa	4cRaBa	4dRaBa	5aVeSw	7cGrRo	HSBLL	3bInTr	Id
CatchID	Cmt_1_S1a	Cmt_1_S1c	Cmt_11_S2a	Cmt_111_S4a	Cmt_111_S4b	Cmt_111_S4c	Cmt_111_S4d	Cmt_112_S5a	Cmt_122_S7c	HSBLL	Cmt_12_S3b	Koppling till avrinningsområde
LidID	Regnbädd a	Regnbädd c	Permeabel beläggning	Regntunna a	Regntunna b	Regntunna c	Uljämning på tak	Svackdike	Grönt tak c	Regnbädd e	Infiltrations- stråk b	LID åtgärd som används
ReplicateNumber	50	50	8	100	200	100	25	10	104	40	10	Antal enheter
UnitArea	6,66	6,666	1 249,75	1	1	1	400	62,5	96,15	8,33	125	Area per enhet
Width	1	1	8	1	1	1	20	6,7	12	1	1,5	Bredd per enhet
InitSat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Initial mätnad
FromImp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RptFileNo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Rapportval
RptFileName	dfs01a BRC,dfs0	dfs01c BRC,dfs0	dfs02a PoPa,dfs0	dfs04a RaBa,dfs0	dfs04b RaBa,dfs0	dfs04c RaBa,dfs0	dfs04d RaBa,dfs0	dfs05a VeSw,dfs0	dfs07c GrRo,dfs0	dfs0\ HSBLL,dfs0	dfs0\3 InTr,dfs0	Resultatfil
IncludeNo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tillämpa val
CollectingArea	200	200	1 249,75	100	50	100	400	1 000	96,15	250	1 000	Ansluten yta
UnitAreaPercent	0,05	0,05	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
CollectingAreaPercent	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
CollectingNo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Metodval
Yrfaktor	30	30	1	100	50	100	1	16	1	30	8	Beräknad yrfaktor



Box 14057 • 167 14 Bromma
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se