



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 2007

Examensarbete 30 hp
Januari 2020

Hantering av dagvatten

sambandet mellan dagvattenanläggningens
storlek och dess total kostnad

Erik Söderberg

Referat

En framtid med ett förändrat klimat kan innebära mer och kraftigare regn. Detta kan komma att ställa högre krav på de dagvattensystem som existerar i dagens städer men även på de system som kommer byggas i framtiden. Att bygga nya och bygga om befintliga dagvattenanläggningar innebär kostnader.

Syftet med detta projekt var att undersöka olika typer av dagvattenlösningar och hur storleken på dessa påverkar totalkostnaden för dagvattensystemet. Genom att undersöka detta var målet att bestämma vilken typ av anläggning, samt storleken på dessa, som är mest samhällsekonomiskt lönsamma för nybyggnad och ombyggnad av dagvattensystem.

För att bestämma vilken typ av dagvattenanläggning som är mest samhällsekonomiskt lönsam studerades effektivitet i att fördröja dagvatten, uppförandekostnad samt drift för olika typer av dagvattenlösningar. I denna rapport studerades dagvattendammar, fördröjningsmagasin och en lokal lösning bestående av krossdiken. Krossdiken är ett metersdjupt dike fyllt med makadam. Hur effektiva de olika lösningar var på att fördröja vatten utvärderades genom modellering i MIKE URBAN där två olika modeller användes, en mindre modell över Viksjö och en större modell över Kungsängen. Modellerna som användes bestod av redan befintliga ledningsnät. Dagvattendammar och fördröjningsmagasin fördelades på tre olika system. System ett bestod av mindre anläggningar och fördelades på totalt tio anläggningar. System två med medelstora anläggningar bestod av tre anläggningar i den mindre modellen och fyra anläggningar i den större. Det tredje systemet bestod av enbart en stor anläggning. Den lokala lösningen med krossdiken modellerade på ett sätt där krossdiken antogs vara utspridda över varje delavrinningsområde. Modelleringen av de olika systemen skedde genom att dessa utvärderades mot ett antal parametrar gemensamma för samtliga lösningar. Dessa parametrar innefattade flödesbegränsningar, typen av regn och översvämningar i modellen. Utifrån kraven som ställdes kunde den totala fördröjningsvolymen som krävdes för de olika dagvattenlösningarna bestämmas. Utifrån de bestämda fördröjningsvolymerna och kostnader för drift och uppförande kunde en total kostnad för de olika dagvattenlösningarna bestämmas. Två resultat presenterades, ett resultat inklusive kostnad för förändrade ledningar och ett resultat exklusive kostnad för ledningar.

Resultatet från modelleringen visade att systemen med ett större antal anläggningar krävde lägre fördröjningsvolymerna än systemen med färre anläggningar. Systemet med tio anläggningar med fördröjningsmagasin krävde den minsta volymen följt av dagvattendammar. Krossdiken krävde den största totala fördröjningsvolymerna. Krossdiken krävde minst antal meter ombyggda ledningar följt av tio, tre/fyra och en anläggning.

Resultatet från de ekonomiska undersökningarna visade att uppförandekostnaden för dammar var lägst följt av krossdiken och fördröjningsmagasin. Driftkostnaden var högst för dammar följt av fördröjningsmagasin och krossdiken. Slutkostnaden exklusive ledningar beräknades utifrån fördröjningsvolymerna från modelleringen tillsammans med kostnader för uppförande och nuvärdet av driftkostnaden under 40 år. Slutkostnaden visade att dagvattendammar var den lösning som var mest samhällsekonomiskt lönsam, cirka fyra gånger billigare än övriga lösningar. Fördröjningsmagasin och krossdiken var likvärdiga i total kostnad exklusive ledningar.

Då kostnaden inklusive förändrade ledningar beräknades var dammar billigast följt av krossdiken och fördröjningsmagasin. Skillnaden mellan totalkostnad beroende på antalet anläggningar ökade till fördel för de system med flera anläggningar då dessa krävde mindre ombyggnation av ledningar.

Nyckelord Dagvatten, kostnader, dagvattendammar, krossdiken, fördröjningsmagasin

Abstract

A changing climate could result in more intense rainfall events. This might result in an increased load on stormwater systems in the urban environment. The building or updating of stormwater systems is relatively expensive. To reduce costs, it is important to build the right type of system. This project aims to examine what type and size of stormwater system is most efficient from an economic perspective.

Different parameters were analysed to compare alternative types of stormwater systems, including the effectiveness in retaining water, the building cost as well as the maintenance cost. In this report three alternative solutions were studied: retention tanks, retention ponds and a local solution in the form of gravel swales. These alternative options were modelled using two different numerical models within the software MIKE URBAN. One smaller model over Viksjö and one larger model over Kungsängen. Retention tanks and retention ponds were split into three systems with a different number of facilities. The systems were examined for ten and one facility in both models, three facilities in the smaller model and four in the larger. The local solution was modelled by mimicking the swales spread across all catchment areas. To examine the effectiveness in retaining water all the solutions and systems had to achieve a set of criteria: a max flow in the end pipe of the system, no flooding, and a rain with recurrence interval of 10 years and duration of 24 hours. From the set of criteria a total retention volume was obtained from modelling the different systems in MIKE URBAN. The costs of building and maintaining the systems were calculated from the retention volumes. As the models had existing pipe-networks two results were obtained, one including and one excluding the cost of the changes made to the pipe network.

The result calculated from modelling retention volumes in MIKE URBAN showed that the system with a larger number of facilities required a lower total retention volume than the systems with fewer facilities. Retention tanks with ten facilities required the smallest total retention volume followed by retention ponds, whereas gravel swales required the largest volume. The local solution required the least change of the pipe network followed by systems with ten, three/four and one facility.

The economic calculations showed that the building cost for retention ponds was the lowest followed by gravel swales and retention tanks. The maintenance cost of retention ponds was the highest followed by retention tanks and gravel swales. The total cost, pipes excluded, calculated from the derived retention volumes, building cost, and net present value of the maintenance for 40 years showed retention ponds being the best solution from an economic perspective. Retention ponds cost around four times less than retention tanks and gravel swales. Gravel swales and retention tanks cost about the same.

When the cost of the pipe network was included retention ponds were still the best option, followed by gravel swales and retention tanks. The difference in cost depending on the number of facilities increased in favour of the systems with a larger amount of facilities when the cost of rebuilding parts the pipe network was included.

Keywords stormwater, cost, retention ponds, retention basin, gravel swales

Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Science, Uppsala university, Villavägen 16, SE-75236 Uppsala, Sverige.

Förord

Det här examensarbetet motsvarar 30 hp för Civilingenjörprogrammet i Miljö och Vattenteknik på Uppsala universitet. Arbetet utfördes i samarbete med Tyréns med handledning av Hans Hammarlund. Ämnesgranskare var Giuliano Di Baldassarre vid Uppsala universitet institutionen för geovetenskap och examinator var Fritjof Fagerlund vid Uppsala universitet institutionen för geovetenskap.

Jag vill tacka min handledare Hans Hammarlund för den hjälp han erbjudit under mitt examensarbete. Ett tack går även ut till David Johansson, Krister Torneke och Mattias Holmberg, alla på Tyréns, för deras hjälp med bland annat underlag för att göra detta arbete möjlig men även stöd och hjälp under arbetets gång. Tack till min ämnesgranskare Giuliano och min examinator Fritjof för förslag och vägledning som hjälpt till att förbättra mitt arbete. Tack Elsa Malmer för en bra opposition som hjälpte till att förbättra mitt examensarbete.

Jag vill också tacka Katarina Wright, som skrev examensarbete hos Tyrens samtidigt som mig för alla trevliga luncher och diskussioner om våra arbeten som hjälpt till att förbättra mitt arbete.

Erik Söderberg, Uppsala 2020

Copyright © Erik Söderberg och Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.

UPTEC W 20007, ISSN 1401-5765. Publicerad digitalt vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala, 2020.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Klimatdata framtagen av FN:s klimatpanel IPCC som analyserats av SMHI kring konsekvenserna av ett förändrat klimat visade att nederbörden kan komma att öka i Sverige. Dels den totala nederbörden men även tillfällena med extrem korttidsnederbörd kan komma att öka. När ett område bestående av gräs, skog eller annan typ av grönområde förändras och bebyggs innebär detta en förändrad vattenbalans i området. I en värld med en ökad nederbörd och kraftigare regn i kombination med växande städer och en växande andel hårdgjorda ytor ökar belastningen på dagvattennäten. För att skydda våra städer från översvämningar är ett fungerande dagvattensystem av yttersta vikt.

Dagvatten är den nederbörd som avrinner från markytor, tak eller andra typer av ytor. Dagvatten innefattar regnvatten och smältvatten från is och snö. Sättet att hantera dagvatten har förändrats genom åren i takt med att städerna har vuxit och förändrats. De tidiga dagvattensystemen, fram till 1970-talet, ledde vattnet i ledningar under mark till närmaste vattendrag. Större städer och mer hårdgjorda ytor innebar en ökad mängd dagvatten. Tillsammans med en ökad kunskap om föroreningar i dagvatten har detta inneburit att synen på dagvatten förändrats med tiden. De första försöken att rena och fördröja dagvatten gjordes vid utloppet av ledningarna. På grund av begränsningar i mängden vatten som kunde renas och fördröjas fungerade denna typ av lösning inte särskilt bra. I början av 2000-talet började begreppet hållbar dagvattenhantering användas och genomföras. Hållbar dagvattenhantering innebar ett fokus på att efterlikna vattnets naturliga väg. Därmed läggs ett ökat fokus på att minska mängden hårdgjorda ytor, öka infiltrationen och använda öppna system där dagvatten tas om hand så nära källan som möjligt. Denna syn på dagvattenhantering innebar ett fokus på mer lokala lösningar.

Ett fokus på lokala lösningar innebär att fokus läggs på att anlägga anläggningen så nära den punkt där regnet faller som möjligt. Det finns ett flertal olika typer av lokala dagvattenlösningar att tillgå beroende på hur området är utformat. Några av de lokala lösningar som används är svackdiken, krossdiken, gröna tak, infiltrationsstråk och växtbäddar. Dagvattendammar och fördröjningsmagasin är två lösningar som använts under en längre tid och är populära även idag.

Med ett förändrat klimat och en ökad belastningar på dagvattennätet kan detta innebära att dagvattensystem behöver byggas om och nya dagvattensystem anpassas för framtida förhållanden. En fråga som kan uppstå är då vilken typ av lösning som är bäst ur ett ekonomiskt perspektiv. Denna rapport har undersökt vilken typ av dagvattenlösning som är mest samhällsekonomiskt fördelaktig vid fördröjning av dagvatten. De lösningar som studerades var dagvattendammar, fördröjningsmagasin och en lokal lösning där ett metersdjupt dike fylls med makadam kallat krossdiken. Dagvattendammar och fördröjningsmagasin fördelades på tre olika system med olika antal anläggningar. Antalet anläggningar i systemen var en, tre och tio. Den lokala lösningen med krossdiken utvärderades för ett scenario där krossdiken antogs anläggas på varje avrinningsområde.

Kostnaden för ett dagvattensystem berodde på ett flertal olika parametrar. De parametrar som var viktiga för att avgöra kostnaden för en anläggning var hur effektiv anläggning var på att fördröja vatten, kostnaden för att bygga anläggningen och kostnaden för drift av anläggningen. För att bestämma effektiviteten för olika anläggningar användes två modeller bestående av två verkliga områden, Viksjö och Kungsängen. I dessa två områden modellerades system med dagvattendammar,

fördröjningsmagasin och krossdiken. Samtliga dagvattenlösningar utvärderades utifrån ett kraftigt regn där krav ställdes på ett maxflöde från utloppet i modellen samt att inga marköversvämingar fick förekomma.

Resultatet visade att dagvattendammar med tio anläggningar var det billigaste alternativet vid byggnation av samt ombyggnation av dagvattensystem. Vid de tillfällen då en ombyggnation sker innebär tio anläggningar att färre ledningar behövde byggas om för att hantera en ökad nederbörd jämfört med de tillfällen då färre anläggningar används.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Syfte och frågeställning	1
1.2	Avgränsningar	1
2	Bakgrund	2
2.1	Dagvatten	2
2.2	Regnmängder och återkomsttid	2
2.2.1	Olika typer av regn vid modellering	3
2.3	Klimatfaktor	4
2.4	Avrinning	5
2.5	Rådande lagar och regler	5
2.6	Olika typer av dagvattenlösningar	5
2.6.1	Krossdike/Makadamdike	6
2.6.2	Svackdike/Skåldike/Biofilterdike	6
2.6.3	Infiltrationsstråk	6
2.6.4	Träd i skelettjord	7
2.6.5	Avsättningsmagasin/Fördröjningsmagasin	7
2.6.6	Perkolationsmagasin	7
2.6.7	Dagvattendammar och våtmarker	8
2.6.8	Växtbädd	8
2.7	Livslängder	8
2.8	Ekonomi	9
2.8.1	Nuvärde och kalkylränta	10
2.9	Områdesbeskrivning och krav	11
2.9.1	Viksjö - Järfälla	11
2.9.2	Kungsängen - Upplands-Bro	12
2.10	Modellering - MIKE URAN	12
2.10.1	Avrinning	12
2.10.2	Ledningsnät	13
2.10.3	Marköversvämningar	14
3	Metod	15
3.1	Modell och modellkrav	16
3.2	Tekniska specifikationer i modellerna	17
3.3	Placering av dammar/magasin	17
3.4	Modellering och förändringar av modellen	18
3.5	Krossdiken	18
3.6	Ekonomi	19
3.7	Livslängder	21
3.8	Nuvärde	21
3.9	Känslighetsanalys	21

4	Resultat	22
4.1	Resultat modellering	22
4.2	Kostnader	24
4.3	Känslighetsanalys	26
5	Diskussion	27
5.1	Modellering	27
5.2	Val av regn	28
5.3	Resultat fördröjningsvolym	29
5.4	Ekonomi	30
6	Slutsatser	33
A	Appendix	37
A.1	. . . . .	37
A.2	. . . . .	38
A.3	. . . . .	39
A.4	. . . . .	40
A.5	. . . . .	41
A.6	. . . . .	42
A.7	. . . . .	43
A.8	. . . . .	44
A.9	. . . . .	45
A.10	. . . . .	46
A.11	. . . . .	48
A.12	. . . . .	49
A.13	. . . . .	50
A.14	. . . . .	51
A.15	. . . . .	51
A.16	. . . . .	53
A.17	. . . . .	54
A.18	. . . . .	55
A.19	. . . . .	56

1 Inledning

I dagens samhälle med växande städer, en ökande mängd hårdgjorda ytor och klimatförändringar som potentiellt kan leda till ökade nederbördsmängder med kraftigare skyfall blir det allt viktigare med ett fungerande dagvattensystem. När ett område bestående av gräs, skog eller annan typ av grönområde förändras och bebyggs innebär detta en förändrad vattenbalans i området. Infiltrationen minskar medan ytavrinningen ökar och avrinningen kan få ett betydligt snabbare förlopp (Svensson, Bäckman & Ljunggren 2016). Samma fenomen uppstår vid förtätning av städer, mängden hårdgjorda ytor ökar och områden där vatten kan omhändertas minskar och belastningen på befintliga dagvattensystemen ökar. Dagvattenhantering är viktigt för att skydda recipienten i form av bland annat hav, sjöar och dricksvattentäkter från föroreningar. Ett fungerande dagvattensystem är även viktigt för att skydda byggnader, infrastruktur, och människor från skador vid kraftiga skyfall som potentiellt kan leda till översvämningar. Hur dagenvattensystemet är utformat, storlek och typ av system, kan bero på ett flertal faktorer. Dagvattenanläggningar regleras bland annat genom olika lagar och regler samt krav från kommuner men också platsspecifika egenskaper där systemen ska byggas spelar en stor roll (Svensson, Bäckman & Ljunggren 2016). Att bygga dagvattenanläggningar innebär kostnader, initialt vid byggnation men även vid drift och underhåll av anläggningen. Det är därför viktigt att välja rätt typ av anläggning som uppfyller de krav som ställs men också minimerar kostnaden.

1.1 Syfte och frågeställning

Projektet syftar till att undersöka och uppskatta vilken typ av och storlek på dagvattenanläggningar som är mest kostnadseffektiv för flödesutjämningar. För att undersöka detta behövde följande frågeställningar besvaras:

- Vad kostar olika typer av dagvattenanläggningar att bygga och underhålla?
- Hur påverkar antalet anläggningar den totala fördröjningsvolymen i ett system?
- Vilken storlek och typ av anläggning är mest kostnadseffektiv?

1.2 Avgränsningar

Innan arbetet påbörjades och under arbetets gång har ett antal avgränsningar gjorts.

- Enbart fördröjningsvolymen har studerats, ingen hänsyn har tagits till vattenkvalitet.
- De dagvattenanläggningar som studerats är några av de vanligaste. Det finns andra typer av anläggningar som ej undersöks i denna rapport.
- Vid modellering har ingen hänsyn tagits till de platsspecifika förhållande där dagvattenanläggningarna placeras.
- De ekonomiska beräkningarna är grova uppskattningar för att ge en generell bild av kostnaden.

2 Bakgrund

Under bakgrunden presenteras ett flertal ämnen som är viktiga för uppgiften och nödvändiga att förstå för att svara på frågeställningarna.

2.1 Dagvatten

Dagvatten avser regnvatten, smältvatten och dräneringsvatten som avleds från hårdgjorda ytor såsom tak, gator och parkeringar (NSVA u.å.). Hanteringen av dagvatten har förändrats genom åren. Från att dagvattensystem började byggas och fram till mitten av 1970 talet var målet att leda bort vattnet till närmaste recipient så snabbt som möjligt (Svensson, Bäckman & Ljunggren 2016). Därefter har kunskapen om dagvattnet ökat och synen förändrats. För de jordarter som är känsliga för sättningar kan en snabb avledning av dagvatten innebära sänkta grundvattennivåer vilket kan leda till sättningar i bebyggda områden. Även kunskapen om de föroreningar som dagvatten innehåller har ökat. Med detta i åtanke förändrades synen på dagvatten (Svensson, Bäckman & Ljunggren 2016). De första försöken att rena dagvatten gjordes initialt vid utloppen av dagvattenledningarna strax innan vattnet nådde recipienten. Denna typ av behandling av dagvatten visade sig inte fungera särskilt bra, framförallt på grund av begränsningar i mängden vatten som var möjligt att behandla och begränsningarna i ledningssystemen (Sage, Berthier & Gromaire 2015). Begreppet hållbar dagvattenhantering började implementeras i början av 2000-talet och innebar att dagvattenhanteringen ska, i den mån det är möjligt, efterlikna naturens sätt att hantera nederbörd. Den nya synen på dagvatten med mer öppna system innebar att fokus initialt läggs på att minska mängden hårdgjorda ytor och öka infiltration av vatten. Därefter ska fokus läggas på att ta hand om vatten så nära källan som möjligt. Om det inte är tillräckligt ska vattnet avledas till öppna dagvattensystem. Om inget av detta är möjligt kan vattnet tas om hand nedströms i någon typ av fördröjningsmagasin som exempelvis dammar eller våtmarker (Svensson, Bäckman & Ljunggren 2016).

Dagens dagvattenhantering innebär en anpassning för samhället. Vid bebyggelse av nya och förändring av befintliga områden måste dagvattenhanteringen vara en del av planeringen. Den öppna hanteringen av dagvatten kan göras till en del av områdets utformning och möjliggöra skapandet av nya rekreatiomsområden i städerna samt bidra till en ökning av den biologiska mångfalden (Stahre 2006). Även ytor som kan användas som översvämningssytor vid kraftiga regn måste identifieras och hållas fria från bebyggelse (Svensson, Bäckman & Ljunggren 2016). Detta ställer krav på höjdsättning av bostäder, vägar och annan infrastruktur och kräver samarbete mellan olika delar av samhället såsom bygglovshantering, VA, samhällsplanering med mera.

2.2 Regnmängder och återkomsttid

Återkomsttid för regn är ett viktigt begrepp vid dimensionering av dagvattensystem. Återkomsttid för en regnhändelse, exempelvis 100-årsregn, bestäms utifrån historiska regnhändelser och statistik (Svensson, Bäckman & Ljunggren 2016). Statistik över historiska regnhändelser kan sammanställas till ett så kallat IDF (Intensity-Duration-Frequency) diagram. Frekvensanalyser bestämmer sannolikheter för olika regnmängder och dess varaktighet. Frekvensanalys genomförs med hjälp av olika statistiska metoder som appliceras på nederbördsdata från platsen som ska undersökas (Ratnasingam, Perera & Wikramanayake 2014). Eftersom de olika återkomsttiderna bestäms utifrån

historiska data varierar mängden regn som utgör ett exempelvis 100-årsregn på olika platser.

Vid modellering och dimensionering av dagvattensystem i Sverige används ofta någon av Dahlströms formel där rekommendationen är att använda den från 2010 (Blomquist et al. 2016). Dahlströms formel utvecklades för att beräkna dimensionerande regnintensiteter i Sverige för regn med varaktighet från fem minuter upp till ett dygn (Dahlström 2010).

Sannolikheten att ett 100-årsregn inträffar är 1% varje år oberoende av vad som händer året innan. Vad som är ett 10-års, 20-års respektive 100-årsregn bestäms av intensiteten och varaktigheten på regnet. Enligt Dahlströms formel är 30 millimeter regn på tio minuter ett 100-årsregn medan samma mängd regn på tjugo minuter är ett 50-årsregn. Genom att studera intensiteten och låta varaktigheten vara konstant kan det förenklat sägas att 100-årsregn är dubbelt så kraftigt som ett 10-årsregn och ett 10-årsregn är dubbelt så kraftigt som ett 1-årsregn i intensitet. Regnhändelser är slumpmässiga, detta innebär att chansen att ett 100-årsregn inträffar inte förändras om detta inträffat nyligen (Svensson, Bäckman & Ljunggren 2016).

Sannolikheten för ett 100-årsregn inträffar är 1% varje år, därmed blir den ackumulerade sannolikheten för att händelsen ska inträffa under en längre period stor. Sannolikheten att en byggnad utsätts för ett 100-årsregn under en period av 50 år 39% medan sannolikheten under en period av 100 år är 63% (Eklund et al. 2015). Eftersom återkomsttiden baseras på historiska data beaktas inte eventuella framtida förändringar i klimatet med ökad nederbörd som följd. De dagvattenanläggningar som byggs idag har en förhållandevis lång livslängd. Detta gör att det ofta används en klimatfaktor vid dimensionering av dagens system för att ta höjd för förändrade nederbördsmängder (Svensson, Bäckman & Ljunggren 2016).

2.2.1 Olika typer av regn vid modellering

Det finns tre olika typer av regn som främst används vid olika typer av modellering. Dessa regn är blockregn, CDS-regn (Chicago design storm) och historiskt uppmätta regn (Blomquist et al. 2016).

Blockregn

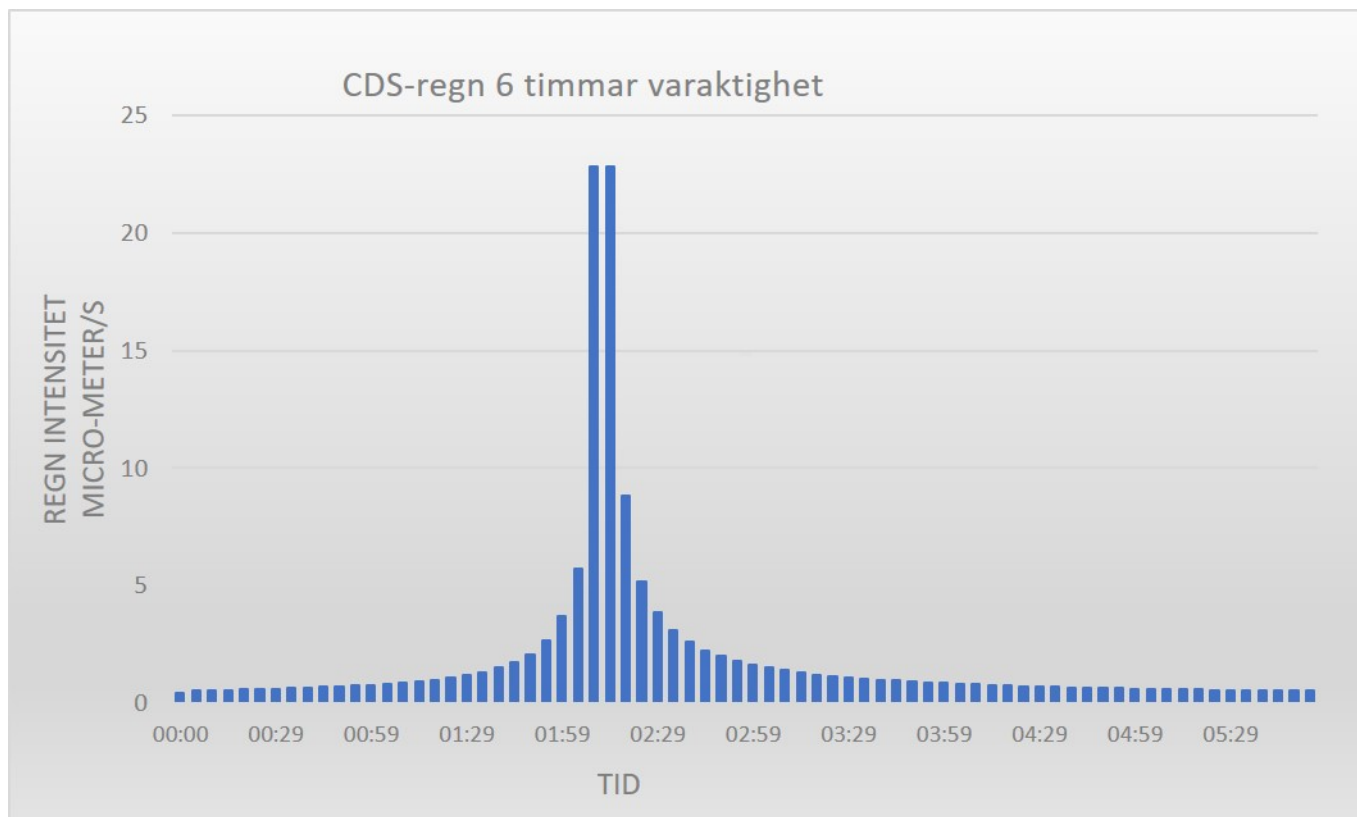
Ett blockregn är en regnhändelse med samma intensitet under hela förloppet (Blomquist et al. 2016). Intensiteten på blockregnet bestäms genom att beräkna medelintensiteten för den mest intensiva delen av regnet under en vald varaktighet (Pramsten 2015). Varaktigheten bestäms utifrån rinntiden i systemet som ska undersökas.

Historiska regn

Historiska regn är nederbörd uppmätt på platsen, eller i närheten. Historiska regnserier bör användas vid kalibrering av dagvattensystem (Blomquist et al. 2016). Vid användning av historiska regn är det viktigt att kontrollera att regnserien som används innehåller korrekt volym. Mätare kan visa felaktiga volymer på grund av bland annat dåligt fungerande mätare, problem vid loggning av data eller att snönederbörd ej mäts.

CDS-regn

Ett CDS-regn framställs syntetiskt utifrån matematiska formler eller baseras på regnstatistik i ett bestämt område. Ett CDS-regn är uppbyggt av ett antal blockregn med olika varaktighet, se figur 1. Det är uppbyggt så att intensiteten för det centrala blockregnet är densamma som intensiteten för ett vanligt blockregn med samma varaktighet. Regnintensiteten för de blockregn utanför det centrala blocket är uppbyggda så att den totala volymen på CDS-regnet blir korrekt jämfört med volymen för motsvarande regn med samma varaktighet (Blomquist et al. 2016).



Figur 1: Exempel på CDS-regn, 10-årsregn med 6 timmars varaktighet.

2.3 Klimatfaktor

På grund av den långa livslängden på olika typer av dagvattenanläggningar är det viktigt att ta höjd för ett förändrat klimat med en ökad nederbörd. Det finns olika scenarier för ett förändrat klimat. Klimatdata framtagen av IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) och analyserad av SMHI över klimatscenario RCP (Representative Concentration Pathways) 4,5 och RCP 8,5 visade att nederbörden kommer att öka i hela Sverige i båda scenarion med vissa regionala skillnader (Eklund et al. 2015). Skillnaden mellan dessa två scenarion, där RCP 4,5 står för en mindre temperaturökning jämfört med RCP 8,5, ökade mot slutet av århundradet. Även tillfällena med extrem korttidsnederbörd antas öka för både scenarion, i detta fall med mindre regionala skillnader. Framförallt extrem korttidsnederbörd under tjugo minuter antas öka mest (Eklund et al. 2015). Dessa beräkningar och antagande ligger till grund för olika typer av klimatfaktorer vid dimensionering av

dagens dagvattensystem. Vid användning av en klimatfaktor för dimensionering av dagvattenanläggningar ska utifrån livslängden på anläggningen den bästa bedömningen som kan göras vid tillfället användas (Svensson, Bäckman & Ljunggren 2016). Baserat på 2015 års kunskap och bedömning rekommenderas en klimatfaktor på minst 1,25 för nederbörd med varaktighet under en timme. För regn med varaktighet upp till ett dygn rekommenderas en klimatfaktor på 1,2 (Svensson, Bäckman & Ljunggren 2016).

2.4 Avrinning

Det finns flera faktorer som påverkar mängden avrinning som skapas. De tre viktigaste är:

- Regnintensitet ($\frac{\text{Liter}}{\text{Sekund} \times \text{Hektar}}$).
- Markytans storlek (hektar).
- Andelen vatten som rinner av ytan (Avrinningskoefficient).

Mängden vatten som flödar från ett område erhålls genom att multiplicera de tre ovan beskrivna parametrarna (Svensson, Bäckman & Ljunggren 2016). Avrinningskoefficienten bestäms utifrån markens egenskaper. Ett markmaterial med hög avrinning och låg genomsläpplighet för vatten har generellt en hög avrinningskoefficient, exempelvis asfalt. Material med låg avrinning och hög genomsläpplighet har generellt en liten avrinningskoefficient, exempelvis gräsytor, skog eller andra grönområden (California State Water Resources Control Board 2011). Avrinningskoefficienten kan dock förändras i takt med att regnet faller. Avrinningskoefficienten beror därmed även på regnintensitet och områdets lutning. Då en genomsläpplig yta blir mättade på vatten kommer koefficienten att öka kraftigt (Svensson, Bäckman & Ljunggren 2016).

2.5 Rådande lagar och regler

De lagar som är utgångspunkter för hur dagvatten ska hanteras, ställer krav på vattenkvalitet och anger hur ansvarsförhållandena fördelas är miljöbalken och lagen om allmänna vattentjänster. Även plan- och bygglagen är viktigt och ger kommunerna möjlighet att reglera de fysiska förutsättningarna för att hantera dagvatten (Boverket 2015). VA-huvudmannen bär ansvar för allmänna VA-anläggningar tills att det allmänna systemet är fullt och vattnet når markytan. Vad som händer därefter avgörs av hur omkringliggande bebyggelse är höjdsatt och utformad. Ansvar för att fastställa säkerhetsnivåer för att skydda bebyggelse ligger hos kommunen (Svensson, Bäckman & Ljunggren 2016). Detta görs ofta genom olika typer av riktlinjer för dagvattenhantering som kommunen tar fram där säkerhetsnivåer och andra typer av regler som gäller i kommunen fastslås.

2.6 Olika typer av dagvattenlösningar

Det finns många olika typer av dagvattenlösningar runt om i Sverige och världen. Nedan presenteras några av de vanligaste och de som ansågs vara relevanta för detta arbete.

2.6.1 Krossdike/Makadamdike

Ett krossdike är ett metersdjupt dike, ibland grundare eller djupare, fyllt med makadam som används för att fördröja och avleda vatten. Botten kan vara öppen mot befintlig mark alternativt innehålla ett dräneringsrör kopplat till dagvattennätet beroende på markens genomsläpplighet. Denna typ av lösning skapar möjlighet för infiltration vid låga flöden och fördröjning och avledning vid höga flöden. Om dräneringsrör placeras en bit upp i diket får partiklar som passerar röret chans att sedimentera. Krossdiken anläggs ofta i anslutning till gator och vägar (Stockholm vatten och avfall 2017a).

Drift

Ett krossdike kräver renhållning och rensning av ogräs. Beroende på belastningen på diket kan makadamfyllning behöva bytas ut (Stockholm vatten och avfall 2017a).

2.6.2 Svackdike/Skåldike/Biofilterdike

Ett svackdike är ett gräsklättedike med en släntlutning som används för att fördröja och avleda vatten. Denna typ av lösning används främst för att hantera höga vattenflöden. För att förbättra denna förmåga kan svackdiket förses med ett strypt utflöde. Diket innehåller oftast ingen dränering men kan förses med detta för att förbättra reningsförmågan. Svackdiken etableras i nivå under en väg, gata eller annan typ av hårdgjord yta och fungerar ofta som ett förstadium till andra reningstyper då grövre sediment kan avskiljas i svackdiket (Stockholm vatten och avfall 2017b).

Drift

Under de första åren efter anläggning är det viktigt att fastställa att det sådda gräset får ordentligt fäste för att minska mängden ogräs. Därefter krävs enbart gräsklippning, allmän renhållning och rensning av viss sedimentation och kontroll av eventuella erosions-skador (Stockholm vatten och avfall 2017b).

2.6.3 Infiltrationsstråk

Ett infiltrationsstråk utformas som ett dike med svagt sluttande kanter samt en bottenbredd på minst en halvmeter. Diket fylls med makadam i botten sedan grus, sandblandad matjord och sist ett vegetationsskikt, ofta gräs. Växter och mark bidrar till reningen av dagvattnet. I nedre delen av infiltrationsstråket kan en dränering som ansluter till dagvattennätet placeras. Om underliggande mark har god genomsläpplighet behövs ingen dränering. Infiltrationsstråk anläggs ofta i anslutning till vägar och gator (Stockholm vatten och avfall 2017c).

Drift

Det är viktigt att se till att gräset får fäste de första åren efter byggnation för att förhindra ogräs och erosion. Löpande underhåll i form av klippning av gräs och allmän renhållning. Kan efterhand behövas tömmas på sedimentavlagringar. Genomsläppligheten minskar med tiden och till slut kan ytlagret behöva bytas för att återställa funktionen (Stockholm vatten och avfall 2017c).

2.6.4 Träd i skelettjord

Skelettjord innebär att en grop grävs som sedan fylls med makadam där ett träd kan planteras. Träd i skelettjord delas upp i vanlig skelettjord och luftig skelettjord. Luftig skelettjord innehåller enbart makadam medan vanlig innehåller en viss andel vanlig jord. Skelettjord används för att rena och fördröja dagvatten. Träden bidrar till rening under växtsäsong, annars sker rening när vattnet passerar genom skelettjorden och genom sedimentation. Vattnet kan behöva ledas till skelettjorden via rännor, ledningar och brunnar. Vid behov kan även en dränering placeras i skelettjorden (Stockholm vatten och avfall 2017d).

Drift

Träd i skelettjord kräver rensning av brunnar för att upprätthålla en fungerande vattentillförsel. Efterhand kan skelettjorden behöva bytas ut för att återställa infiltrationskapaciteten (Stockholm vatten och avfall 2017d).

2.6.5 Avsättningsmagasin/Fördröjningsmagasin

Ett fördröjningsmagasin är ett magasin under jord med tät botten som avser att fördröja och rena dagvatten. Magasinet kan vara ihåligt alternativt innehålla makadam. Avtappning av vatten i magasinet kan ske på olika sätt. Magasinet kan fungera som en underjordisk damm där avtappning enbart sker då nytt vatten rinner till magasinet. Magasinet kan även tömmas med hjälp av pumpar samt via strypta utlopp där magasinet töms kontinuerligt när vatten rinner till efter ett bestämt utflöde. Reningen sker genom sedimentation (Stockholm vatten och avfall 2017e). Avsättningsmagasin med ett strypt flöde kan vara ett alternativ till att öka dimensionen på befintliga ledningar (Magnussen et al. 2015).

Drift

Fördröjningsmagasin utan makadam kräver tömning av sediment, i vissa fall kan även rengöring av magasinet i form av spolning krävas. Magasin med makadamfyllnad går inte att tömma på sediment och kräver då ett sandfång innan inloppet som fångar upp material som annars skulle sedimentera. Detta sandfång måste tömmas regelbundet (Stockholm vatten och avfall 2017e).

2.6.6 Perkolationsmagasin

Perkolationsmagasin är ett magasin som anläggs under jord med en öppen botten och/eller vägg som avser att fördröja och rena dagvatten. Det suspenderade materialet i inkommande vatten sedimenterar i magasinet och vattnet rinner sedan vidare ner i marken under magasinet. Magasinet kan byggas på plats genom att en grop schaktas och sedan fylls med grovkornigt material exempelvis makadam. Gropen avskiljs sedan från omgivande mark med hjälp av en markduk. Magasinet kan också byggas med hjälp av en prefabricerad konstruktion. Istället för att fylla gropen med makadam placeras exempelvis förtillverkade kassetter med öppen botten, ofta i plast, i gropen. Rening sker initialt genom sedimentation i magasinet, det vattnet som sedan filtreras vidare genom marken renas ytterligare av biologiska och kemiska processer (Stockholm vatten och avfall 2017f).

Drift

Perkolationsmagasin kräver regelbunden kontroll av brunnar och ledningar som leder in till magasinet samt allmän kontroll av funktionen. På längre sikt, 25 till 50 år, kan material i magasinet samt jordlager direkt under magasinet behöva bytas (Stockholm vatten och avfall 2017f).

2.6.7 Dagvattendammar och våtmarker

Dagvattendammar och våtmarker används för att fördröja och rena vatten. De anläggs ovan jord och utformningen varierar och anpassas utifrån de förutsättningar som råder på platsen. Rening sker med hjälp av sedimentation och upptag av växter. Dammar och våtmarker kombineras ofta för att förbättra reningen av vattnet. Reningen av dagvattnet sker genom sedimentation och i våtmark, men till viss del även dammar, upptag av föroreningar av växter. Långa och smala dammar är att föredra för att öka uppehållstiden av vatten och på så sätt öka sedimentationen samt för att underlätta skötsel. Utloppet från dammen kan vara både ytligt samt placeras under vattenytan. En placering under vattenytan minskar risken för temperaturskiktning av vattnet i dammen (Stockholm vatten och avfall 2017g).

Drift

Skötselbehovet av dammen beror till stor del på utformningen av densamma. Generellt krävs en viss kontroll av potentiell erosion och växtlighet. Rensning av skräp och sedimentationsrester vid in och utlopp bör utföras. På längre sikt kan tömning av bottensediment krävas (Stockholm vatten och avfall 2017g).

2.6.8 Växtbädd

Växtbäddar används för rening och fördröjning av vatten. En växtbädd är ofta nedsänkt för att dagvatten ska kunna ledas till anläggningen. Växtbäddarna kan ha både tät och öppen botten, vid båda tillfällena finns det en dräneringsledning kopplad till anläggningen. Växtbäddarna består av ett filtermaterial av sandbaserad växtjord följt av ett dräneringslager i form av makadam. Växtligheten består ofta av gräsarter och olika typer av örter. Även träd kan vara möjligt att plantera beroende på utformning och storlek på växtbädden (Stockholm vatten och avfall 2017h).

Drift

Vid anläggning krävs regelbunden bevattning, en viss nyplantering kan även behövas under livstiden. Löpande underhåll består av skötsel av växter samt rensning av ogräs. Genomsläpligheten i växtbädden kan minska efterhand. Därmed kan det översta lagret av växtbädden behöva bytas ut för att öka infiltrationen i anläggningen (Stockholm vatten och avfall 2017h).

2.7 Livslängder

Vid beräkningar av totala kostnaden och jämförelse av olika system måste kostnaden för hela livslängden för systemet beaktas. Det är därför viktigt att utvärdera livslängden för olika lösningar.

Europeiska kommissionen skriver att livslängden för olika typer av vattensystem, avlopp, dagvatten och vattenförsörjning kan antas vara 30 år (Sartori et al. 2015). Vatteninformationssystem Sverige (VISS) anger en generell livslängd för dagvattenlösningar som dammar, gräsdiken, biofilter och andra typer av öppna dagvattenlösningar till 20 år (Vatteninformation Sverige 2019a). I en norsk rapport från COWI angående kostnader och nytta vid dagvattenhantering anges livslängden för dagvattenledningar till 100 år medan öppna lösningar såsom gröna tak, våtmarker, dammar anges livslängden till 40 år (Magnussen et al. 2015). Svenskt vatten anger en livslängd för traditionella lösningar till 100 år (Svensson, Bäckman & Ljunggren 2016). En sammanställning av olika angivning livslängder i diverse litteratur åskådliggörs i tabell 1.

Tabell 1: Livslängder för ett antal olika dagvattenlösningar.

Anläggningstyp	Livslängd år
Traditionella lösningar (Svensson, Bäckman & Ljunggren 2016)	100
Fördröjningsmagasin av betong/plast (Magnussen et al. 2015; Ramboll 2019)	40, 100
Öppna dagvattenlösningar (Vatteninformation Sverige 2019b) (Magnussen et al. 2015)	20, 40
Infiltrationsmagasin/Stenkista (Ramboll 2019)	20-30
Krossdike (Holmgren & Palmquist 2014; Göteborgs Stad 2018)	10-15, 20-40

2.8 Ekonomi

Att exakt uppskatta vad olika dagvattenlösningar kostar att bygga är svårt. Detta på grund av att platsspecifika förhållanden har en stor inverkan på kostnaden för att bygga anläggningen. Skillnaden mellan exempelvis åkermark och mark med berg kan innebära att samma arbete kan kosta upp till 70% mer (Holmberg 2019). Utöver de faktiska kostnaderna för att bygga själva anläggningen tillkommer andra positiva och negativa effekter som är svåra att uppskatta ekonomiskt. Några av dessa är kostnaden för minskade skador på byggnader, minskad erosion, minskat behov av rening av vatten i reningsverk, minskat behov av rening av dricksvatten och positiv påverkan på miljö och biologisk mångfald (Magnussen et al. 2015; United States Environmental Protection Agency 2007).

Det finns rapporter som har försökt att uppskatta generella kostnader för olika typer av lösningar, oftast var det som studerades kostnader vid uppförande och i ett fåtal fall även drift. Mängden tillgänglig information skiljde sig även mellan olika typer av lösningar. För konventionella system som existerat en längre tid fanns det en större mängd data. Ett exempel är dagvattendammar som började byggas i större antal efter år 1990, där det år 2007 antas existera fler än 1000 dagvattendammar i Sveriges kommuner vars syfte är att flödesutjämna (Falk 2007). Då dagvattendammar var relativt vanliga fanns det flera rapporter där dessa utreds i olika dagvattenutredningar med mer eller mindre utförliga ekonomiska beräkningar. Detsamma gällde läggning av nya rör och olika typer av

fördröjningsmagasin. För modernare lokala lösningar, som krossdiken, svackdiken och växtbäddar var mängden data mer begränsad. En sammanställning av medelvärdet av kostnaden för olika dagvattenlösningar presenteras i tabell 2. De rapporter som användes och vad som ingick i dessa går att läsa i appendix A.11.

Tabell 2: Medelvärde för kostnader för ett antal olika dagvattenlösningar. Källor återfinns i appendix A.11.

Lösning	Kostnad
Dagvattendammar	900kr/m ³
Fördröjningsmagasin	8100kr/m ³
Infiltrationsstråk	900kr/m ²
Krossdike	1700kr/m ²
Svackdike	1300kr/m ²
Växtbädd	2800kr/m ²
Träd i skelettjord	12000kr/m ³

Driftkostnader beräknades endast i ett fåtal rapporter. En av de mer utförliga rapporterna som undersökt ett antal olika dagvattenlösningar var rapporten *Kostnader og nytte ved overvannstiltak* (Magnussen et al. 2015) från Norge. En sammanställning av de driftkostnader som beräknades i denna rapport finns åskådliggjorda i tabell 3 nedan.

Tabell 3: Driftkostnader för ett antal olika dagvattenlösningar. Driftkostnaderna är hämtade från rapporten *Kostnader og nytte ved overvannstiltak* (Magnussen et al. 2015).

Dagvattenlösning	Drift
Dagvattendammar	35nok/m ² år
Fördröjningsmagasin	50nok/m ³ år
Infiltrationsstråk	10nok/m ² år
Svackdike	5nok/m ² år
Växtbädd	15nok/m ² år

2.8.1 Nuvärde och kalkylränta

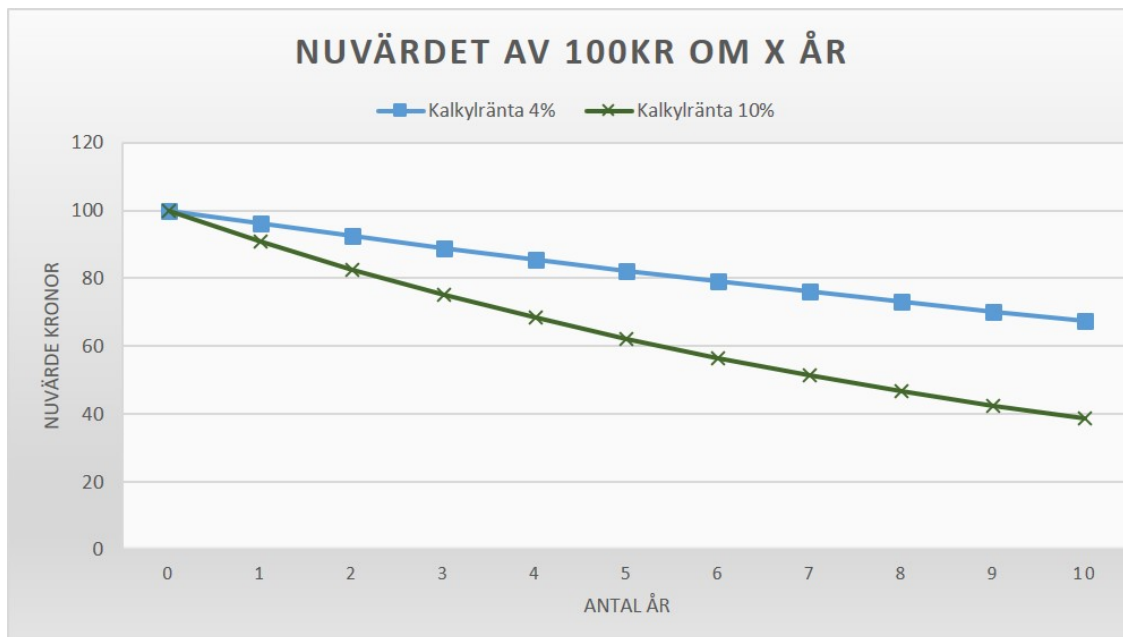
Nuvärdesmetoden är ett sätt att bestämma lönsamheten i en investering. Nuvärde används för att bestämma dagsvärdet av ett belopp som kommer betalas in eller ut i framtiden. Betalningarna diskonteras till ett nuvärde med hjälp av en kalkylränta (Olsson 2012). Kalkylränta, också kallad diskonteringsränta, är den ränta som företag, banker eller andra berörda institutioner använder för att beräkna lönsamheten i investeringen (Olsson 2012). För investeringar med en livslängd över 30 år ska kalkylränta vara 4% enligt europeiska kommissionen (Sartori et al. 2015). Bland svenska myndigheter används olika diskonteringsräntor för längre beräkningar. Transportstyrelsen använder diskonteringsränta på 4% liksom Naturvårdsverket och Boverket. Skogsindustrin använder vid avkastningsberäkningar en diskonteringsränta på 6% (Hansson 2012).

Vid tillfällen då investeringen löper över en längre tid kan det vara av intresse att summera årliga inbetalningsöverskott eller utbetalningar för att erhålla en uppfattning om investeringen är lönsam

eller inte. Nuvärdet av en återkommande in eller utbetalning år efter år kan beräknas med ekvation 1 (Olsson 2012). Nuvärdets påverkan på värdet av en in eller utbetalning åskådliggörs i figur 2.

$$NV = \frac{(1 + r)^n - 1}{r \cdot (1 + r)^n} \cdot x \quad (1)$$

NV är nuvärdet av investeringen, r är kalkylräntan, n är antal år investeringen löper över och x är den årliga betalningen.



Figur 2: Nuvärdets förändring beroende på kalkylränta.

2.9 Områdesbeskrivning och krav

Som beskrivet i avsnitt 2.5 kan varje kommun ställa specifika krav för hur dagvattenhantering ska gå till i kommunen utöver de lagar och regler som gäller för samtliga kommuner i Sverige.

2.9.1 Viksjö - Järfälla

Viksjö ligger längs med Bällstaån i sydvästra delen av Järfälla kommun. Bällstaån har haft återkommande problem med översvämningar. I dagsläget består området av två befintliga dagvattenanläggningar i form av två dammar. Nya förslag har tagits fram för att rena och fördröja vattnet vid ett klimatanpassat 10-årsregn. Förslagen som tagits fram i den nya dagvattenutertningen har en total fördröjningsvolym på 8000 m³ (Hammarlund 2018).

Dagvattenhantering Järfälla

Järfällas riktlinjer för dagvattenhantering är att miljö kvalitetsnormer för vatten skall uppnås och belastningen på vattendrag ej ska öka trots en ökad bebyggelse (Järfälla kommun 2016).

- Dagvatten skall tas om hand lokalt, i första hand genom infiltration och i andra hand genom fördröjning och rening på annat sätt (Järfälla kommun 2016).
- Genomsläpplig mark, gröna tak och väggar främjas. Inom nya detaljplaner ska andelen vegetation regleras med hjälp av en grönytefaktor ¹ som ska uppgå till minst 0,5 (Järfälla kommun 2016).
- Nya områden skall planläggas så att översvämningar kan undvikas vid 10-årsregn och skador på bebyggelse skall ej uppstå vid 100-årsregn och vid beräknat högsta flöde (Järfälla kommun 2016).
- Nya dagvattensystem ska utformas enligt Svenskt Vattens funktionskrav och vara dimensionerade för 10-års återkomsttid för regn vid fylld ledning med klimatafaktor 1,25 (Järfälla kommun 2016).
- Dagvatten skall avledas ytligt, lösningar ska i första hand göras synliga och estetiskt tilltalande. Där det är möjligt integreras i parker och rekreationsområden (Järfälla kommun 2016).

2.9.2 Kungsängen - Upplands-Bro

Upplands-Bro ligger i nordvästra delen av Stockholms län. Kommunen har cirka 28 000 invånare (Upplands-Bro kommun u.å.[a]). Den största delen av kommunens dagvatten avvattnas i dagsläget till Mälaren. Kommunen strävar efter att bromsa upp och omhänderta dagvatten inne på respektive fastighet med ett fokus på lokalt omhändertagande av dagvatten (Upplands-Bro kommun u.å.[b]).

2.10 Modelleringsprogram - MIKE URBAN

MIKE URBAN är ett modelleringsprogram som används för att studera bland annat vattendistribution, avrinning och dagvattensystem (DHI u.å.).

2.10.1 Avrinning

Den data som behövdes för att kunna beräkna avrinning från ett område i MIKE URBAN var data angående områdets storlek, andel hårdgjord yta, vart kopplingen till dagvattennätet skedde med mera. Vid modellering av ytavrinning vid en specifik regnserie kan avrinningen modelleras med flera olika metoder (DHI 2017a).

- Tid area metoden (Time area method)
- Icke-linjära reservoar (kinematisk våg) metoden (Non-linear reservoir (kinematic wave) method)
- Linjära reservoar metoden (Holländsk/Fransk avrinnings modell) (Linear reservoir method (Dutch runoff model/French runoff model))

¹Grönytefaktor anger hur stor del av tomten som är ekologisk aktiv vilket innebär att platsen har en positiv inverkan på platsens ekosystem. Erhålls genom att dela den ekologiskt aktiva ytan med total ytan av tomten (Järfälla kommun 2016)

- Enhetshydrograf modell (Unit hydrograph model)

Nedan beskrivs tid area metoden då denna användes vid modellering. Tid area metoden användes vid tidigare projekt utförda av Tyrens, därmed fanns den data som behövdes.

Tid area metoden

Vid användning av tid area metoden måste följande parametrar anges: andelen hårdgjord yta som % av avrinningsområdet, hydrologisk reduktionsfaktor, rinntid och initialförlusten (DHI 2017a).

Andelen hårdgjord yta i % matas in i MIKE URBAN för respektive avrinningsområde. Denna siffra var bestämd sedan tidigare via GIS (geografiskt informationssystem).

Den hydrologiska reduktionsfaktorn är en siffra som reducerar avrinningen på grund av evapotranspiration (transpiration och avdunstning), hårdgjorda ytor som inte är helt ogenomträngliga etcetera. Grundinställningen om inget anges är 0,9. Den hydrologiska reduktionsfaktorn kan även användas för att kalibrera modellen mot uppmätta flöden. Rinntiden bestämmer den tid det tar för regnet som faller längst bort från utloppet att nå avrinningsområdets utlopp. Grundinställningen är sju minuter (DHI 2017a).

Avrinning från området börjar när mängden nederbörd överstiger initialförlusten. Initialförlusten beskriver den mängd nederbörd som krävs för att fukta ytan och fylla eventuella håligheter i ytan. Detta värde kan ställas in manuellt alternativt kan det förinställda standardvärdet på 0,0006 meter användas. Då intensiva regn under en kortare period undersöks kan infiltration antas vara försumbar. Om användaren vill kan denna lägga till infiltration i modellen men detta kräver mer data om området (DHI 2017a).

Tid area metoden delar upp avrinningsområdet i mindre delar baserat på den tid det tar vattnet att nå utloppet i avrinningsområdet. I MIKE URBAN definieras avrinningsområdets utseende i förhållande till utloppet med hjälp av en tid area kurva. Denna kurva kan göras specifik för varje avrinningsområde eller så kan en generell modell användas. De tre förinställda kurvorna för att beskriva vattenflödet från avrinningsområdet är rektangulär, divergent och konvergent. Avrinningen från ett område beräknas utifrån den bestämda tid area kurvan, indata för avrinningsområdet, och initialförlusten (DHI 2017a).

Modelleringen är en diskret process där avrinnings beräknas från olika celler. I dessa celler beräknas inflöde från omkringliggande celler, utflöde och eventuellt inkommande regn. Utflödet från den sista cellen i avrinningsområdet beskriver det aktuella utflödet från avrinningsområdet (DHI 2017a).

2.10.2 Ledningsnät

Grunden för beskrivning av dagvattensystem i MIKE URBAN består av länkar och noder. Länkar beskriver ledningar och noderna kan beskriva brunnar, magasin, pumpar, utlopp med mera. Länkarna kan vara raka eller böjda och antas vara kopplade till noden i botten av noden. Nodens

höjdläge beskrivs utifrån en bottenhöjd och en max höjd. Flödet i ledningen kan modelleras utifrån tre olika flödes approximationer, dynamisk våg (Dynamic wave), diffusiv våg (Diffusive wave) och kinematisk våg (Kinematic wave). Här beskrivs dynamisk våg då denna användes vid modelleringen. För en mer utförlig beskrivning av de antaganden och regler som utgör de olika alternativen för att beräkna flödet i ledningarna hänvisas till manualen för programvaran MOUSE (DHI 2017b).

Grunden för flödesberäkningar i MIKE URBAN antar att flödet i rören är ostadigt (unsteady flow). Flödesberäkningar görs sedan utifrån Saint Venant ekvationer som har sin utgång i lagen om massans bevarande (DHI 2017b)

$$\frac{dQ}{Dx} + \frac{dA}{dt} = 0 \quad (2)$$

och lagen om bevaranda av rörelsemängd

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{d(\alpha \frac{Q^2}{A})}{dx} + g \cdot A \cdot \frac{dy}{dx} + g \cdot A \cdot I_f = g \cdot A \cdot I_o \quad (3)$$

där

Q = flödet (m^3/s)

A = flödes area (tvärsnittsarea rör) (m^2)

y = flödes djup (m)

g = tyngdaccelerationen (m/s^{-2})

x = avståndet i flödesriktningen (m)

t = tid (s)

α = hastighets distubutions koefficient

l_o = bottenlutning

l_f = Friktionslutning

Modellen antar också att: Skillnaden i densitet för vattnet är försummar och att vattnet är homogent och ej går att komprimera. Bottenlutningen är liten därmed blir cosinus mellan bottenlutning och det horisontella planet ungefär 1. Våglängden är stor i förhållande till djupet i röret. Därmed kan flödet antas att ha en riktning som är parallell med botten. Vertikal acceleration är därmed försumbar. Flödet är sub-kritiskt (sub-critical) (DHI 2017b).

Utöver sättet som flödet beräknas bestäms även flödet i röret av rörets utseende, storlek och material. Röret kan anta fyra olika geometriska former cirkulärt, rektangulärt, O-format och ägg format. Materialet som ledningen består av är kopplad till friktionen i röret som bestäms utifrån Mannings tal. Friktionsförlusten kan sedan beräknas utifrån fyra olika metoder, Manning Explicit, Manning Implicit, Colebrook White, Hazen-Williams (DHI 2017b).

2.10.3 Marköversvämningar

Marköversvämningar i MIKE URBAN kan modelleras på olika sätt. I detta arbete användes den enklaste modellen för marköversvämningar och denna beskrivs här. Vid de tillfällen då inkommande vattenflöde i en nod överstiger utgående vattenflöde höjs vattennivån i noden tills att vattennivån

överstiger marknivån och en marköversvämning bildas. Då vattennivån överstiger marknivån skapas ett tillfälligt magasin ovanför noden där överflödigt vatten lagras. Vattnet börjar sedan återföras i systemet då det inkommande vattenflödet i noden understiger det utgående vattenflödet. Detta innebär att vattnet, under tiden marköversvämningen kvarstår, tillfälligt inte befinner sig i systemet med brunnar, magasin och ledningar (DHI 2017b).

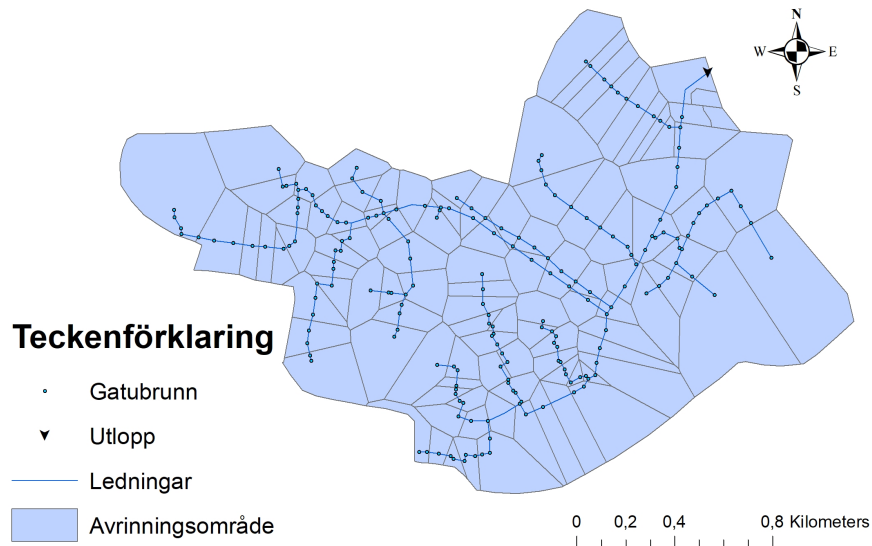
3 Metod

För att avgöra hur anläggnings storlek påverkar slutekonomin samt vilka typer av dagvattenlösningar som var mest samhällsekonomiskt fördelaktig behövde olika typer av dagvattenlösningar med olika antal anläggningar jämföras. För att göra denna jämförelse användes två olika modeller som modellerades i MIKE URBAN. En modell över området Viksjö i Järfälla samt en modell över Kungsängen i Upplands-Bro. Då sekretess råder gällande modellen över Kungsängen kommer denna inte att visas i rapporten. Genomförandet för båda modellerna var i stora drag lika, därmed gäller beskrivningen nedan som fokuserar på Viksjö-modellen även för Kungsängen om inte annat beskrivs under metoden. De två modellerna valdes på grund av skillnaden i storlek i modellerna. Modellen över Viksjö är relativt liten medan modellen över Kungsängen är mer än dubbelt så stor sett till hektar. För att beräkna en slutkostnad för de olika dagvattenlösningarna måste en fördröjningsvolym beräknas. Denna fördröjningsvolym beräknades i modellerna över Viksjö och Kungsängen. Modelleringen av fördröjningsvolym kommer att visa på effektiviteten för de olika lösningar och ligga till grund för de ekonomiska beräkningarna.

Dagvattendammar och fördröjningsmagasin delades upp på tre olika lösningar. För Viksjö var dessa lösningar system där dammar och magasin fördelades på en, tre och tio anläggningar. Utöver detta studeras en lokal lösning med krossdiken där krossdikena antogs anläggas på varje delavrinningsområde för att hantera vattnet lokalt. För Kungsängen delades dammar och magasin upp på en, fyra och tio anläggningar samt en lokal lösning bestående av krossdiken. Systemen med en, tre, fyra och tio anläggningar utvärderades enbart för magasin och dammar. Efter att ha undersökt kostnader för flera olika typer av lokala lösningar valdes krossdiken till den lokala lösningen som användes vid modellering. För Kungsängen valdes fyra anläggningar istället för tre på grund av svårigheter att fördela belastningen jämt då enbart tre anläggningar användes. Endast vattenvolymer modellerades, ingen hänsyn togs till vattenkvalitet.

3.1 Modell och modellkrav

Initialt skapades en grundmodell där den befintliga modellen rensades från existerande dammar så enbart brunnar, dagvattenledningar, utlopp och avrinningsområden återstod.



Figur 3: Grundmodellen Viksjö som användes för att jämföra de olika dagvattenlösningarna.

Därefter bestämdes de parametrar som dagvattenlösningarna måste uppfylla. Följande parametrar gäller för Viksjö.

- Ett 10-årsregn med varaktighet i 24 timmar och klimatkfaktor 1,25 användes.
- Maxflöde i sista röret fick inte överstiga 1000 l/s.
- Inga marköversvämningar fick förekomma.

De marköversvämningar som uppstod med befintliga ledningar i grundmodellen (figur 3) utan dammar och tioårsregnet kan ses i appendix A.9. Maxflödet bestämdes utifrån tidigare uppdrag som Tyrens utfört där kravet från kommunen varit ett maxflöde på 1000 l/s. Klimatfaktorn på 1,25 användes då detta angavs i riktlinjerna för dagvatten i Järfälla kommun. Att inga marköversvämningar fick förekomma bestämdes för att allt vatten skulle finna sig i systemet och därmed skedde utvärderingen av de olika lösningarna på ett rättvist sätt.

För Kungsängen användes samma regn, samt samma utgångspunkt vad gäller marköversvämningar. Då modellen för Kungsängen var större än Viksjö behövde flödet i sista röret på 1000 l/s för Viksjö översättas till ett flöde i sista röret för Kungsängen. Detta gjordes genom att studera den reducerade arean som skapar avrinning för respektive modell. För Viksjö var denna yta 46,45 hektar medan för Kungsängen var den 111,21. Genom att dela slutflödet på 1000 l/s på andelen reducerad area för Viksjö erhöles ett flöde på 21,53 l/hektar reducerad area. Detta flöde multiplicerades med reducerade arean på 111,21 hektar för Kungsängen. Detta gav ett maxflöde på 2394 l/s i sista röret.

3.2 Tekniska specifikationer i modellerna

Båda modellerna har tidigare använts i uppdrag av Tyrens. En genomgång av de tekniska specifikationerna som använts för de två modellerna följer nedan.

För samtliga simuleringar i Viksjö-modellen användes den förinställda rektangulära tid area kurvan. För rinntiden var grundinställningen sju minuter, initialförlusten var grundinställningen 0,0006 meter medan den hydrologiska reduktionsfaktorn var 0,82 för alla avrinningsområden förutom fyra där den var 0,8. Alla rör var cirkulära och av betong. Mannings explicit användes och Mannings tal var 75. För beräkning av flöden i ledningarna användes dynamisk våg.

För Kungsängen-modellen användes även där den förinställda rektangulära tid area kurvan som var densamma som i Viksjö-modellen. Rinntiden är var specifikt inställd för varje avrinningsområden. Medelvärde för rinntiden var 23 minuter. Initialförlusten var grundinställningen 0,0006 meter och den hydrologiska reduktionsfaktorn varierar mellan 0,9 och 1. I modellen fanns både diken och vanliga rör. Mannings explicit användes och Mannings tal för rören varierade mellan 75 och 80. För beräkning av flöden i ledningar användes dynamisk våg.

Den hydrologiska reduktionen har använts för att kalibrera originalmodellen mot flödesmätningar för både Viksjö och Kungsängen. Andelen hårdgjord yta för respektive delavrinningsområde var bestämd sedan tidigare genom en undersökning av områdena i GIS där avrinningskoefficienter för olika marktyper och bebyggelse i området bestämdes. Mängden hårdgjord yta beräknades sedan genom att multiplicera arean för de ytor som parats ihop med en avrinningskoefficient.

3.3 Placering av dammar/magasin

Metoden för utplacering av dammar och magasin var densamma och dessa placerades i samma nod. Skillnad i den sammanlagd fördröjningsvolymen mellan dammar och magasin uppstod senare och berodde på vattennivån i noden där magasinet var placerad i förhållande till marknivån. Därmed gäller nedan beskrivna metod för utplacering av anläggningar både dammar och magasin.

Placeringen av en anläggning gjordes utifrån den reducerade arean. Den reducerade arean beräknades genom att multiplicera den totala arean för respektive avrinningsområde med mängden hårdgjord yta och den hydrologiska reduktionsfaktorn. Den totala mängden reducerade area att fördela på de olika anläggningarna sammanställdes till 46,45 hektar för Viksjö och 111,21 för Kungsängen. För systemet med tio anläggningar bestämdes den initiala placeringen genom att i bästa möjliga mån koppla en tiondel av den reducerade area till varje anläggning. För systemet med tre anläggningar skulle varje anläggning vara kopplad till en tredjedel av den reducerade arean.

En viss förflyttning av anläggningar i modellerna skedde. För Viksjö flyttades anläggningar i systemen med tio och tre anläggningar. I systemet med tio anläggningar flyttades tre anläggningar och i systemet med tre anläggningar flyttades en anläggning. I modellen över Kungsängen flyttades två anläggningar i systemet med tio anläggningar. Förflyttningen gjordes vid de tillfällen då den maximala vattennivån i noden var mer än 50 cm från marknivå. De gånger så var fallet studerades de två mest närliggande noderna (framför och bakom befintlig nod). Om någon av dessa noder hade en

lägre marknivå och inte påverkade den kopplade reducerade arean mer än 5% flyttades anläggningen. Slutgiltig vattennivå i noden i förhållande till marknivå kan ses i appendix A.10 för både Viksjö och Kungsängen. Förflyttningen av anläggningar gjordes för att optimera kostnaden för anläggning av dagvattenlösningarna. Genom en förflyttning av anläggningen minimerades storleken på dammen och därmed minskade kostnaden för uppförande av dammen. Detta innebar även en fördel för uppförande av magasinen. Då magasinet inte behövde placeras lika djupt i förhållande till marknivå minskas mängden schaktmassor som behöver förflyttas och därmed även kostnaden. Andelen area kopplad till respektive anläggning finns i appendix A.7 för Viksjö och A.8 för Kungsängen.

3.4 Modellering och förändringar av modellen

När placeringen av anläggningarna var bestämd påbörjades arbetet med att dimensionera upp rören i modellen samt öka volymer på anläggningarna för att eliminera marköversvämningar och minska utflödet från sista röret. Diametern på rören förändrades till tal med en decimal noggrannhet exempelvis från 0,5 till 0,6 medan strypningen av rören som kontrollerade utflödet från anläggningarna skedde med en större noggrannhet, upp till tre decimaler.

Skapande av ett magasin eller en damm i MIKE URBAN kan ske på olika sätt. Här valdes en metod där det magasin som skapades i MIKE URBAN symboliserar både en damm och ett magasin. Denna metod valdes för att detta är den enklaste och snabbaste metoden och på så sätt underlättades modelleringen. Skapandet av dammen/magasinet sker genom att i MIKE URBAN skapa en modell över anläggningen genom att ange en genomskärningsarea på olika höjder. För dammen bestämdes sedan volymen utifrån höjden i noden där dammen placerades och den angivna genomskärningsarean. Höjden i noden innebar skillnaden mellan botten i den befintliga brunnen i modellen och dess marknivå. Den använda volymen för magasinering av vatten i respektive magasin räknades i sin tur ut genom att multiplicera den angivna genomskärningsarean från modellen med den maximala vattennivån i noden där magasinet var placerad. För att minska arbetet med modellen bestämdes att genomskärningsarean var densamma på alla höjder. Detta innebar att volymen varierade för de olika anläggningarna beroende på höjden i noden där de placerades. En iterationsprocess påbörjades där volymen på anläggningarna ökades genom att öka genomskärningsarean samtidigt som utflödet från anläggningarna minskades genom att minska ledningsdimensionen ut från anläggningen och på så sätt strypa utflödet. Detta gjordes tills att det efterfrågade slutflödet hade uppnåtts. Förändringar av rördimensioner och längd på dessa noterades.

En viss förändring av modellerna var nödvändig båda för Viksjö och Kungsängen för att eliminera marköversvämningarna i modellen utöver uppdimensionering av rören. För systemet med en anläggning i Viksjö-modellen samt systemen fyra och en anläggning i modellen över Kungsängen var ett fåtal brunnar tvungna att sänkas. Detta för att ge möjlighet till att öka dimensionen på rören och på så sätt eliminera marköversvämningar. För systemet med en anläggning i modellen för Kungsängen förändrades också ett antal ledningar till diken.

3.5 Krossdiken

För att simulera lokala anläggningar med krossdiken på varje avrinningsområde användes samma CDS-regn som vid modelleringe av dammar och magasin (se appendix A.1 för regnserie). Här an-

togs att krossdikena omhändertar regn som faller på hårdgjorda ytor och detta regn når därmed inte dagvattenledningarna. Regnserien modifierades genom att ett antal millimeter av regnet raderades för att simulera att detta regn omhändertogs av krossdikena (se appendix A.18 för total regnvolyms samt borttagen regnvolyms). Regnet som raderades togs alltid bort i början av regnserien. Här antogs att infiltration inte har någon påverkan under tiden regnet faller. Även här användes en iterationsprocess där mängden regn minskades successivt. Grundmodellen utan dammar och förändrade ledningar användes och marköversvämningar och slutflöde studerades. För att bestämma den eftersökta fördröjningsvolymen multiplicerades den reducerade arean i kvadratmeter med mängden avlägsnat regn i millimeter och en volym i liter erhöles. Denna volym konverterades sedan till kubik och multiplicerades med klimatfaktorn på 1,25 som användes vid modelleringen. Regnet som användes, utan klimatfaktor, för jämförelse av de olika systemen kan ses fördelat på minuter i appendix A.1 och sammanställt per timme i appendix A.2.

3.6 Ekonomi

För att bestämma uppförandekostnaderna för olika typer av dagvattenlösningar studerades initialt diverse litteratur och dagvattenutredningar. Inledningsvis samlades så mycket data som möjligt in, för att sedan välja ut de rapporter där de ekonomiska uträkningarna beskrevs mest utförligt. I ett flertal av de undersökta rapporterna är underlaget angående hur beräkningarna var gjorda och vad som ingick i dessa bristfälligt. Därmed föll dessa rapporter bort.

Efter en första genomgång av kostnaderna för olika typer av dagvattenanläggningar valdes ett antal lokala dagvattenlösningar bort. De lösningar som valdes bort var växtbäddar, träd i skelettjord, svackdiken och infiltrationstråk. Detta gjordes då växtbäddar och träd i skelettjord var en dyr lösning och därmed ej konkurrenskraftig. Svackdiken och infiltrationstråk är två lösningar som liknar varandra, dessa valdes bort på grund av dessa sällan används i områden där det är ont om plats och sällan används som en enskild lösning utan ofta i samband med andra typer av lokala lösningar. De återstående lösningarna var krossdiken, dagvattendammar och fördröjningsmagasin.

De rapporter och dagvattenutredningar som utgör underlaget till de kostnader som beskrivs nedan finns sammanställda i appendix A.11.

Dagvattendammar

För dagvattendammar existerade det fler rapporter än de två som uppförandekostnaderna baserades på i denna rapport. Anledningen till att många av rapporterna valdes bort var till följd av otillräcklig information. Ett flertal av rapporterna beskrev kostnaderna per m² vattenspegel alternativt att rapporterna ej redovisade vad som ingick i de olika beräkningarna. De två dagvattenutredningarna från Viksjö och Riksten valdes då det utifrån tillgänglig information är möjligt att beräkna uppförandekostnaden per kubik fördröjningsvolym och det tydligt framgick vad som ingick i beräkningarna. I kostnadsunderlaget för de olika dammarna ingick kostnader för etablering och vägar till dammen. För att ta hänsyn till antalet dammar i respektive system beslutades att exkludera dessa kostnader från kostnaden per kubik damm och sedan lägga på dessa kostnader i efterhand beroende på antalet dammar i systemet. För systemet med tio dammar lades en kostnad för en 25 meter väg till för

var och en av dammarna. För systemet med tre dammar en väg på 30 meter per damm, och för systemet med en damm var vägen 50 meter lång. Längden på vägarna valdes utifrån dagvattenutredningen Botkyrka kommun dagvattendammar Riksten och i diskussion med Hans Hammarlund (Hammarlund 2017; Hammarlund 2019). Kostnaden för byggnation av väg var enligt dagvattenrapporten över Riksten 2500 kronor per meter (Hammarlund 2017). Etableringskostnaden bestämdes vara 50 000 kronor per damm. För en väg på 50 meter och en etablering innebar detta en kostnad på 175 000 kronor.

Fördröjningsmagasin

Det finns ett flertal olika typer av fördröjningsmagasin. För att minska mängden av lösningar valdes att se alla olika typer av fördröjningsmagasin som en typ av dagvattenlösning och därmed beräknades uppförandekostnaderna för dessa till ett gemensamt medelvärde.

Krossdiken

De två rapporter som valdes ut för beräkning av kostnaderna för krossdiken använde kostnader per meter respektive per kvadratmeter. Här antogs att kostnaden per meter innebar att lösningen också var en meter bred, därmed antogs kostnaden för krossdiken från de båda rapporterna jämförbara. Kostnaden per kvadratmeter beräknades sedan om till kubik. Här antogs krossdiken vara 1 meter djupa med sluttande sidor där botten var 0,7 bred. Fördröjningsvolymen antogs sedan vara 30% av den totala volymen på grund av fyllningen av makadam. Detta innebar en fördröjningsvolym på 0,255 m³ per meter krossdike, se appendix A.16 för skiss av dimension.

Ledningar och brunnar

Kostnaden för brunnar bestämdes utifrån underlag från Tyrens till 10 000 kronor per brunn. För ledningar varierade kostnaden beroende på dimension. En schablon skapades där priset ökade i takt med dimensionen på ledningen. Från underlag erhållna från Tyrens över kostnadsberäkningar med ledningar av mindre dimensioner, upp till 200 millimeter i diameter, stod ledningskostnaden för mellan 10 och 20% av totalkostnaden (Holmberg 2019). Därefter studerades en prislista för ledningar med olika dimensioner och en schablon där ledningar antogs stå för 19% av totalkostnaden applicerades. Procentsatsen valdes i det övre intervallet på grund av ett antagande att större ledningar står för en större del av totalkostnaden än vad mindre ledningar gör. Kostnad för ledningar från underlaget inkluderar röjning av vegetation, schakt av jordmassor, kostnad för ledningsmaterial, ledningsbädd, återfyllnad och återställning. Schablonen var beräknad på områden som ej krävde bergsschakt. En sammanställning över de värden som erhöles från schablonsberäkningarna för ledningar återfinns i appendix A.12.

Drift

Driften för olika lösningar beräknades sällan i de undersökta rapporterna. För beräkning av driftkostnader användes en rapport, Kostnader og nytte ved overvannstiltak (Magnussen et al. 2015). Denna rapport användes för att beräkna driften för samtliga anläggningar. Detta då denna rapport hade beräknat och jämfört ett flertal dagvattenlösningar. Därmed är tillvägagångssättet liknande för

alla lösningar och jämförelsen mellan de olika lösningarna bör då bli rättvisare än om olika rapporter skulle användas. På grund av att rapporten är på norska beräknas kostnaderna för drift i norska kronor. När beräkningarna för ekonomidelen gjordes stod den norska kronan i 1,05 och driftkostnaden omräknades till kronor med denna kurs (Affärsvärlden 2019). För dammar angavs driften i kronor per kvadrat dammyta, för fördröjningsmagasin kronor per kubik medan för krossdiken fanns ingen exakt siffra. Däremot fanns driftkostnaden för andra lokala lösningar. Driftkostnaderna för dessa låg mellan fem och femton kronor per kvadratmeter. Driftkostnaden för krossdiken valdes till tio kronor per kvadratmeter. Driftkostnaden för dammarna räknades om till kubik. Detta gjordes genom att beräkna förhållandet mellan kostnaden för kvadratmeter dammyta och kostnaden per kubik för de dammar som ingått i underlaget för beräkning av uppförande kostnaden per kubik. Efter att detta förhållande fastställts applicerades detta på driften per kvadratmeteryta och ett driftpris per kubik fastställdes.

3.7 Livslängder

För att beräkna nuvärde och en total kostnad för anläggningar var en livslängd för olika anläggningar tvungen att bestämmas. Utifrån den studerade litteraturen som sammanställdes i avsnitt 2.7 skiljer sig de livslängder som användes för olika typer av dagvattenlösningar, se tabell 1. I denna rapport kom en livslängd på 40 år att användas för samtliga anläggningar. Detta kommer att gynna vissa typer av lösningar och missgynna andra. Detta diskuteras mer utförligt i diskussionen. Anledning till detta val var för att underlätta beräkningarna och få en lättare jämförelse mellan olika system.

3.8 Nuvärde

För att jämföra lösningarna beräknades nuvärdet för samtliga lösningar. Detta gjordes genom att använda ekvationen för beräkning av nuvärde, ekvation 1, under avsnitt 2.8.1. En kalkylränta på 4% användes.

3.9 Känslighetsanalys

För att undersöka hur förändrade parametrar i modellen påverkar ett eventuellt resultat beslutades att förändra några av de parametrar som kan ha inverkan på avrinning och flöde i modellen. De parametrar som undersöktes var den hydrologiska reduktionsfaktorn samt Mannings tal. Dessa valdes då dessa är två av de parametrar som har påverkan på avrinning och flöde i modellen. De kan även förändras och variera i takt med att ledningar blir äldre och området förändras. Den hydrologiska reduktionsfaktorn påverkar mängden hårdgjord yta och därmed avrinningen och valdes efter diskussion med Hans Hammarlund (Hammarlund 2019). Enligt Hans erfarenheter kan mängden hårdgjord yta skattas upp till 30% fel och därmed valdes att multiplicera reduktionsfaktorn med 0,7 i ena fallet och 1,3 i det andra för att simulera ett fall med överskattning och ett fall med underskattning. Mannings tal valdes till 60, även detta efter diskussion med Hans. Mannings tal hade i vissa fall uppmätts till så lågt som 60 ute i fält. Känslighetsanalysen utfördes på Viksjö-modellen där de två parametrarna studerades för scenariot med en och tio anläggningar. Detta för att undersöka om påverkan på slutresultatet skiljer sig åt mellan de två systemen. Initiala värdet på Mannings tal i Viksjö-modellen var 75 för samtliga rör.

Även regn med en återkomsttid på tio år med olika lång varaktighet påverkan på systemet studerades för att få en uppfattning om hur längden på regnet påverkar slutresultatet. Regnen som användes var tioårsregn med varaktighet på 1,2,3 och 6 timmar. Dessa regn finns redovisade i appendix A.3, A.4,A.5,A.6. Regnets påverkan studerades för krossdiken samt för tio magasin i Viksjö-modellen.

Kalyrrentants påverkan på slutvärdet studerades. Detta på grund av ränteläget i världen idag innebär lägre räntor än tidigare och därmed fanns det argument för att använda en lägre kalkylränta än de 4% som användes i denna rapport.

Utformningen av krossdiken och dess påverkan på slutkostnaden undersöktes. Krossdiken var pris-satta per meter, därmed får dimensionering en påverkan på hur många kubik anläggning kan omhändertaga per meter. De tre olika dimensioner som studerades gav en fördröjningsvolym på 0,225, 0,255 och 0,385 kubik per meter krossdike. Dimensionerna på de tre krossdiken som studerades åslådliggörs i appendix A.16.

4 Resultat

Nedan följer resultat från modellering över fördröjningsvolym och de ekonomiska beräkningarna. Initialt redovisas resultatet från modelleringen och det fördröjningsvolym som krävdes. Därefter sammanställdes volym och ekonomi till ett slutgiltigt resultat. I slutet av resultatet återfinns även en känslighetsanalys av ett flertal områden.

4.1 Resultat modellering

Resultatet från modelleringen delas upp på två tabeller, 4 och 5, en för Viksjö och en för Kungsängen. Resultatet visade att tio anläggningar var den bästa lösningen sett till fördröjningsvolym följt av tre och en anläggning. Mellan respektive dagvattenlösning var magasin den lösning som krävde den minsta totala fördröjningsvolymen. Krossdiken var den lösning som krävde störst fördröjningsvolym. Systemet med en anläggning krävde flest meter förändrade ledningar för att klara de krav som ställdes. Den lokala lösningen med krossdiken krävde ingen förändring av ledningar i Viksjö modellen och endast 887 meter i modellen över Kungsängen.

För att få en uppfattning hur fördröjningsvolymerna skiljer sig mellan Viksjö och Kungsängen-modellen, samt en översikt över skillnaden mellan de olika systemen beräknades ett nyckeltalet. Nyckeltalet visade hur effektiva de olika systemen är. Nyckeltalet beräknades genom att dela den totala fördröjningsvolymen för respektive dagvattenlösning på antal hektar reducerad area i modellen. Nyckeltalet visade att Viksjö-modellen kräver en mindre volym per hektar än Kungsängen för de system där magasin användes. Skillnaden mellan krossdiken i de två modellerna var liten.

Tabell 4: Resultatet från modelleringen av Viksjö fördelat på fördröjningsvolym, förändrade ledningar och brunnar samt ett nyckeltal över effektiviteten för de olika systemen.

Lösning	Total volym (m ³)	Förändrade ledningar (m)	Sänkta brunnar	Volym per hektar
Krossdiken Viksjö	20613	0	0	444
10 dammar Viksjö	15467	5775	0	333
3 dammar Viksjö	15746	8125	0	339
1 damm Viksjö	15759	9232	1	339
10 magasin Viksjö	14257	5775	0	307
3 magasin Viksjö	14704	8125	0	317
1 magasin Viksjö	15606	9232	1	336

Tabell 5: Resultatet från modelleringen av Kungsängen fördelat på fördröjningsvolym, förändrade ledningar och brunnar samt ett nyckeltal över effektiviteten för de olika systemen.

Lösning	Total volym (m ³)	Förändrade ledningar (m)	Sänkta brunnar	Volym per hektar
Krossdiken Kungsängen	48654	887	0	438
10 dammar Kungsängen	37786	11170	0	340
4 dammar Kungsängen	45632	14415	4	410
1 damm Kungsängen	47702	16053	8	429
10 magasin Kungsängen	36773	11170	0	331
4 magasin Kungsängen	43631	14415	4	392
1 magasin Kungsängen	47736	16053	8	426

Placeringen av anläggningar i Viksjö modellen kan ses i appendix A.17. En mer utförlig beskrivning av de förändrade ledningarna finns i appendix A.13, A.14. Volymen för respektive damm och magasin återfinns i appendix A.7 och A.8.

4.2 Kostnader

Nedan sammanställs kostnaderna för de olika lösningarna fördelat på kostnad per kubik samt drift per kubik och år. I tabell 6 presenteras uppförandekostnader och driftkostnader bestämda utifrån de underlag som beskrevs i sektion 2.8 samt 3.6.

Tabell 6: Kostnad och drift för de tre dagvattenlösningarna.

Dagvattenlösning	Kostnad kr/m ³	Drift kr/m ³ år
Dagvattendammar	866	68
Fördröjningsmagasin	8135	52
Krossdike	6667	39

Resultatet för uppförandekostnad, driftkostnad, ledningskostnad, totalkostnad inklusive ledningar samt totalkostnad exklusive ledningar sammanställs i tabell 7 och 8. En redogörelse för respektive delresultat följer nedan följt av en sammanställning i tabellform.

Utifrån uppförandekostnaderna i tabell 6 samt de fördröjningsvolymerna som presenterades i tabell 4 och 5 beräknades en uppförandekostnad för respektive system. Uppförandekostnaden var billigast för systemen med dagvattendammar.

Med hjälp av driftkostnaderna sammanställda i tabell 6 samt de erhållna fördröjningsvolymerna beräknades, utifrån ekvation 1, nuvärdet av driftkostnaden för respektive lösning. En kalkylränta på 4% användes. Driften för dammar var dyrast. Driften för systemen med magasin och krossdiken var relativt lika i modellen över Kungsängen medan driften för krossdiken var dyrare än magasin i Viksjö modellen beroende på de fördröjningsvolymerna som krävdes.

En totalkostnad för respektive dagvattenlösning exklusive ledningskostnader beräknades. Dammar var den billigaste lösningen. I Viksjö-modellen var totalkostnaden för tio, tre och en anläggning då dammar används ungefär lika medan i modellen över Kungsängen var tio anläggningar det billigaste alternativet. För magasin var tio anläggningar billigast följt av tre och en anläggning i båda modellerna. Krossdiken var den dyraste lösningen i Viksjö. För Kungsängen var en anläggning där magasin användes den dyraste lösningen.

En slutkostnad inklusive ledningskostnader beräknades. Kostnaden för förändring av ledningar var lägre för system med flera anläggningar. Tio anläggningar där dammar användes var den billigaste lösningen i båda modellerna. Krossdiken var billigare än magasin i båda modellerna.

Tabell 7: Uppförandekostnader, driftkostnadern, ledningskostnader samt en totalkostnad inkl och exklusive ledningskostnader för Viksjö.

Lösning	Uppförande- kostnad (mkr)	Driftkostnad (mkr)	Totalkostnad exkl ledningar (mkr)	Ledningskostnad (mkr)	Totalkostnad inkl ledningar (mkr)
Krossdiken Viksjö	137,4	18,8	154,2	0	154,2
10 dammar Viksjö	14,5	20,9	35,4	51,1	86,5
3 dammar Viksjö	14,0	21,3	35,3	124,1	159,4
1 damm Viksjö	13,8	21,3	35,1	188,6	223,7
10 magasin Viksjö	116,5	14,8	131,3	51,1	182,4
3 magasin Viksjö	119,8	15,3	135	124,1	259,1
1 magasin Viksjö	127,0	16,2	143,2	188,6	331,8

Tabell 8: Uppförandekostnader, driftkostnadern, ledningskostnader samt en totalkostnad inkl och exklusive ledningskostnader för Kungsängen.

Lösning	Uppförande- kostnad (mkr)	Driftkostnad (mkr)	Totalkostnad exkl ledningar (mkr)	Ledningskostnad (mkr)	Totalkostnad inkl ledningar (mkr)
Krossdiken Kungsängen	324,3	39,6	364,0	6,3	370,3
10 dammar Kungsängen	33,8	51,0	84,9	72,4	156,8
4 dammar Kungsängen	39,9	61,6	101,6	209,3	310,9
1 damm Kungsängen	41,5	64,4	105,9	299,1	405,8
10 magasin Kungsängen	299,6	38,2	337,9	72,4	410,3
4 magasin Kungsängen	355,1	45,3	400,5	209,3	609,8
1 magasin Kungsängen	385,1	49,2	434,3	299,1	733,4

4.3 Känslighetsanalys

För att undersöka hur slutresultatet kan påverkas av olika antagande eller förändringar i modellen gjordes ett flertal olika känslighetsanalyser på olika parametrar och antagande. Dessa presenteras nedan. Reduktionsfaktorn minskades respektive ökades med 30% då mängden hårdgjord yta kan skattas upp till 30% fel enligt Hans Hammarlund (Hammarlund 2019). Reduktionsfaktorn var 0,82 för alla avrinningsområden förutom fyra stycken i Viksjö modellen medan den varierade mellan 0,9 och 1 i modellen över Kungsängen. Mannings tal valdes till 60 då det är bland de lägsta värden som uppmätts vid verkliga mätningar. Mannings tal i Viksjö modellen var 75. För Kungsängs modellen varierade Mannings tal mellan 75 och 80.

Resultatet från känslighetsanalysen över reduktionsfaktorn och Mannings tal visade att reduktionsfaktorn hade en stor påverkan på den totala fördröjningsvolymen. Systemet med tio anläggningar var mer känslig för förändringar än systemet med en anläggning. Mannings tal hade en liten påverkan på slutvolymen, även här påverkades tio anläggningar mer än systemet med en anläggning.

Tabell 9: Känslighetsanalys för Mannings tal och reduktionsfaktor. Resultatet är fördekat på totalvolymen för magasin samt minskning/ökning av volymen i % i förhållande till den volym som bestämdes utan förändring av de tekniska specifikationerna.

Scenario	10 magasin	1 magasin
Totalvolym grund	14257 m ³	15606 m ³
Reduktions faktor minskning 30%	7428 m ³ (-48%)	9020 m ³ (-42%)
Reduktions faktor ökning 30%	21715 m ³ (+52%)	22248 m ³ (+43%)
Mannings tal 60	13578 m ³ (-5%)	15141 m ³ (-3%)

För att undersöka hur regnets varaktighet påverkar den slutgiltiga fördröjningsvolymen för olika system kördes modellen i Viksjö med fem olika regn med olika varaktighet. De system som jämfördes var lokala lösningar med krossdiken samt tio magasin. Resultatet från känslighetsanalysen visade att regnets varaktighet påverkar den slutgiltiga fördröjningsvolymen. Regnets varaktighet påverkar krossdiken mer än tio magasin och skillnaden i fördröjningsvolym mellan krossdiken och tio magasin ökar i takt med att varaktigheten på regnet ökar. Total regnvolym samt regnintensiteter för de olika varaktigheterna återfinns i appendix A.1, A.3, A.4, A.5, A.6.

Tabell 10: Känslighetsanalys för olika regn med olika varaktighet och dess påverkan på krossdiken och tio anläggningar.

Regn	Krossdiken Viksjö (m ³)	Ökning volym i % krossdiken jämfört med 10år 1h	10 magasin Viksjö (m ³)	Ökning volym i % 10 magasin jämfört med 10år 1h	Skillnad mellan lösningar (m ³)	Skillnad mellan lösningarna (%)
10år 1h	11323	-	9404	-	1919	20
10år 2h	13355	18	10930	16	2425	22
10år 3h	14226	26	11676	24	2550	22
10år 6h	15677	38	12100	29	3577	30
10år 24h	20613	82	14257	52	6356	45

En känslighetsanalys av nuvärdets påverkan på slutkostnaden för de olika systemen gjordes. En figur över kalkylräntans påverkan på en in och utbetalning återfinns i figur 2. Känslighetsanalysen visade att kalkylräntan hade en påverkan på slutpriset där dammar påverkades mest. Detta då driften för dammar var dyrast. En förändring av kalkylräntan påverkade inte kostnadsordningen mellan de olika lösningarna.

Tabell 11: Totalkostnaden exklusive ledningar för de olika lösningar beräknat utifrån nuvärdet med en kalkylränta på 2%. Nuvärdet beräknat med kalkylränta 4% är värdet inom parantes.

System	Totalkostnad dammar (mkr)	Totalkostnad magasin (mkr)	Totalkostnad krossdiken (mkr)
Tio anläggningar Viksjö	43,4 (35,4)	137,0 (131,3)	-
Tre anläggningar Viksjö	43,4 (35,3)	140,9 (135,0)	-
En anläggning Viksjö	43,2 (35,1)	149,4 (143,2)	-
Krossdiken Viksjö	-	-	160,6 (154,2)
Tio anläggningar Kungsängen	104,4 (84,9)	352,5 (337,9)	-
Fyra anläggningar Kungsängen	125,1 (101,6)	417,8 (400,5)	-
En anläggning Kungsängen	130,5 (105,9)	453,1 (434,3)	-
Krossdiken Kungsängen	-	-	379,2 (364)

Nedan återfinns en jämförelse över hur antagandet angående fördröjningsvolymen per meter krossdike påverkar totalkostnaden. Känslighetsanalysen visade att antagandet angående utseendet på krossdiken hade stor påverkan på totalpriset. Ett antagande enligt dimension tre innebar att krossdiken var billigare än magasin. För en ritning över utseendet för krossdiket med dimension ett, två och tre se appendix A.16.

Tabell 12: Jämförelse förändrad dimensionering av krossdiken påverkan på slutkostnaden.

	Totalkostnad Viksjö (mkr)	Totalkostnad Kungsängen (mkr)
Dimension 1 (0,225m ³ /m)	174,8	412,5
Dimension 2 (0,255m ³ /m)	154,2	364,0
Dimension 3 (0,3825m ³ /m)	102,8	242,6

5 Diskussion

5.1 Modellering

Placeringen av anläggningarna gjordes utifrån den reducerade arean. På grund av ledningsnätet utseende med diverse förgreningar samt mängden reducerad area på respektive delavrinningsområde uppstod det svårigheter i att fördela arean jämt på respektive anläggning (se appendix A.7, A.8 för fördelning av yta per anläggning). Dessutom varierade fördelningen av volymer på magasin och dammar på grund av att samma genomskärningsarea användes och höjden i noderna varierade. Detta innebar att större dammar i systemet hade en mindre mängd area kopplad än andra mindre dammar. En uppfattning om hur mycket det skiljer mellan olika anläggningar kan erhållas genom att studera volymerna i Viksjö-modellen, appendix A.7. Där kan det utläsas att damm V3 var mer

än dubbelt så stor som damm V6 trots att andelen kopplad hektar var liknande, 5,57 jämfört med 5,02. Med detta i åtanke bör det finnas en annan placering och fördelning av volym över dammarna som är effektivare än den som användes under modelleringen vilket bör ha inverkan på totalvolymen för systemet. Detta gäller framförallt systemen med tio anläggningar men till viss del även de med tre/fyra anläggningar.

Känslighetsanalysen angående hur reduktionsfaktor och Mannings tal påverkar modellen som sammanställdes i tabell 9 visade att reduktionsfaktorn har en stor påverkan på den fördröjningsvolym som krävdes. Detta är rimligt då en förändrad reduktionsfaktor påverkar direkt mängden avrinning och därmed den mängd vatten som når dagvattenledningarna. Systemet med tio anläggningar ser ut att vara mer känslig för en missbedömning av mängden hårdgjord yta än systemet med en damm. Mannings tal påverkade totalvolymen betydligt mindre. Ett långsammare flöde i rören innebar att vattnet tog längre tid på sig att nå anläggningarna och på så sätt befinner sig mer vatten i rören och belastning blir därmed lägre.

Modelleringen av dammar och magasin i MIKE URBAN med metoden som användes bör vara relativt bra. Parametrar som kan ha påverkat resultatet är primärt de förinställda värdena och de tekniska specifikationerna som användes. För att få ett ännu säkrare resultat kunde andra metoder för avrinning och beräkning av flöde i rör som existerar i MIKE URBAN undersökts. Detta gjordes dock inte på grund av den data som behöver samlas in för att byta exempelvis metod för att beräkna flöden i ledningsnäten. Med detta sagt bör metoden som användes för modellering av dammar och magasin fungerat bra.

5.2 Val av regn

Valet av regn har stor betydelse för totalvolymen för de olika lösningarna. Känslighetsanalysen i tabell 10 visade att krossdiken påverkades mer än vad lösningen med tio magasin gjorde. Skillnaden mellan krossdiken och tio magasin ökade från 20% vid modellering med regnet med kortast varaktighet till en skillnad på 45% när regnet med en varaktighet på 24 timmar användes. Regnserien som användes under modelleringen hade en varaktighet på 24 timmar med relativt lite nederbörd i början av regnserien. Under de första sju timmarna av 24 timmars regnet föll det mindre än 2 millimeter regn per timme (se appendix A.2 för regnserie). För lösningarn med dammar och magasin hann en del av detta regn rinna igenom systemet och fyllde därmed inte upp magasinerna särskilt mycket innan det kraftigare regnet nådde anläggningarna. För krossdiken, med metoden som användes, antogs detta regn fylla upp krossdikena och inget av regnet infiltrera jorden och rinner undan under tiden regnet föll. Detta kan vara anledningen till att skillnaden i totalvolym mellan krossdiken och tio magasin ökade i takt med en ökad varaktigheten på regnet. Krossdiken modellerades även för ett 20-årsregn med varaktigheter på 1,2,3 och 6 timmar, se appendix A.19 för volymer. När ett 20-årsregn används ökar den total regnvolymer samt intensiteten i regnet vilket innebar att volymerna för krossdikena ökade. Vid jämförelse mellan 10 och 20-årsregn med 1 timmes varaktighet var skillnaden i slutvolym för krossdikena 3483 m³. När en varaktighet på 6 timmar användes var skillnaden 5226 m³. Även här ökade skillnaden när varaktigheten på regnet ökade.

Valet av regn ser därmed ut att gynna magasin och dammar. Vilket regn som bör användas kan därmed diskuteras. Att använda ett regn med 24 timmars varaktighet kan antas vara med rimligt då

det är sällan dammar och magasin kan antas vara helt tomma utan att något vatten flödar in och ut från anläggningarna. Detta var fallet innan simuleringen påbörjades. Att då använda ett regn med 24 timmars varaktighet med väldigt lite regn i början av simuleringen kan därmed vara rimligt för att få med ett scenario då det existerar en del flöden i systemen. Dock kommer framtiden förmodligen innebära mer kraftig korttidsnederbörd. Detta talar för att ett regn med kortare varaktighet bör användas. Dock är regnintensiteten för det centrala blocket för samtliga varaktigheter väldigt lika (se figur 1, centrala blocket är delen med mest regn, appendix A.1, A.3, A.4, A.5, A.6 för de olika regnen). Det är primärt mängden regn innan och efter det centrala blocket i regnserien som skiljer mellan de olika varaktigheterna. Att därmed använda ett längre regn bör då också fungera för att utvärdera påverkan av kraftig korttidsnederbörd då den maximala intensiteten mellan de olika varaktigheterna är likanande.

5.3 Resultat fördröjningsvolym

Att tio anläggningar krävde mindre totalvolym än tre och en anläggning var förvånande. Den initiala tanken var att det skulle vara svårt att hitta en placering av de tio anläggningar för att kunna utnyttja dessa så optimalt som möjligt.

En anledning till denna skillnaden i volym mellan tio anläggningar jämfört med en anläggning kan vara att i systemet med flera anläggningar utnyttjas rören och den fördröjningsvolym dessa kan bidra med på ett bättre sätt. När en damm/magasin anlades stoppade detta upp flödet av vattnet och fyllde därmed ledningarna uppströms anläggningen. I ett system med ett flertal anläggningar innebar detta att ett större antal ledningar utnyttjades än i ett system med färre anläggningar. En jämförelse mellan ledningsuppfyllnaden för en och tio anläggningar kan ses i appendix A.15. Bilderna är tagna vid den tidpunkt volymen toppar i magasinet i systemet med en anläggning. Värt att tänka på är att rören är cirkulära, dvs, när vattennivåerna är låga i röret är volymen vatten i rören väldigt liten. När vattennivån ökar, ökar den totala volymen vatten i röret snabbt. Notera också att dimensionerna på ledningarna är olika på grund av att systemet med en anläggning kräver större dimensionen för att eliminera marköversvämningarna. På andra platser i modellen var skillnaden inte lika tydlig, detta berodde på hur höjder i bakomliggande noder såg ut.

I tabell 4 och 5 sammanställdes magasinvolymen per hektar reducerad area som ett mått på effektiviteten i lösningen. Från tabellerna framgår att Viksjö-modellen krävde en mindre volym per hektar jämfört med Kungsängen. En anledning till detta kan eventuellt även här hänföras till det bidrag som kommer från ledningarna. Skillnaden i detta fall är att den volym som ledningarna bidrog med i Viksjö-modellen var större i förhållande till den totala fördröjningsvolymen i systemet. Den totala volymen för tio magasin i Viksjö modellen var 14257 kubik jämfört med 36773 kubik i Kungsängen. Det är även möjligt att tänka sig att eftersom en större mängd reducerad area var kopplad till varje anläggning i Kungsängen-modellen (se appendix A.7, A.8) var också ledningarna större. Detta innebar att de kan hålla en större volym vatten och på så sätt borde skillnaden i effektiviteten inte bero på skillnad i bidrag från ledningar. Detta är dock svårt att uttala sig som eftersom det hade varit tidskrävande att beräkna den volym ledningarna bidrar med för varje magasin. Hade tiden funnits hade detta varit väldigt intressant att undersöka.

Ytterligare en anledning till att tio anläggningar var mer effektiva än en anläggning kan vara tid-

punkten då volymen i ledningarna utnyttjades som bäst. I systemet med en anläggning inträffade maxvolymen i ledningarna uppströms anläggningen innan dammen/magasinet var som mest fylld. Vattennivån i ledningen minskade sedan medan anläggningen fortsatte att fyllas. Maxnivån i anläggningen och ledningarna inträffade alltså vid olika tillfällen. I systemet med tio anläggningarna inföll maxvolymen i dammen/magasinet samtidigt som maxvolymen i ledningarna och på så sätt utnyttjades ledningarna volym bättre i systemen med tio anläggningarna än en anläggning. En av anledningarna till att dammen/magasinet i systemet fortsatte fyllas även om flödet hade toppat kan bero på rinntiden i systemet. Trots att maxflödet har uppnåtts fortsätter det komma mer vatten mot anläggningen än vad anläggningen släpper ut och därmed fortsatte den att fyllas.

5.4 Ekonomi

En av de större osäkerheterna i denna rapport är kostnadsberäkningarna. Framförallt kostnaderna för uppförande och drift för de olika anläggningarna var svåra att uppskatta. Detta på grund av det tillgängliga underlaget men också på grund av att en stor del av kostnaden för uppförande och drift av dagvattenanläggningar är platsspecifika. Att bestämma en generell kostnader kan därmed vara svårt. Ett exempel är kostnadsberäkningen för krossdiken. För krossdiken varierar fördröjningsvolymen per meter beroende på hur anläggningen dimensioneras. I dagvattenutredning DP Norskvägen, som var en av de rapporter som användes som kostnadsunderlag för krossdiken, varierade volymen per meter krossdiken från 0,21 till 0,3. Skillnaden på slutpriset för krossdiken beroende på hur dimensioneringen av anläggningen såg ut kan skilja sig väldigt mycket beroende på vilka antagande som gjordes, detta åskådliggörs i tabell 12. En skillnad i djup på 50 cm mellan dimension 2 och dimension 3 innebar att totalkostnaden minskar med 50 miljoner kronor i Viksjö-modellen och 120 miljoner kronor i Kungsängen-modellen jämfört med den dimensionen då ett djup på en meter användes vid kostnadsberäkningarna. För magasin klumpades fler olika typer av lösningar ihop till en lösning, detta bör ha inneburit att det finns både billigare och dyrare varianter beroende på vilket typ av magasin som är lämpligt att använda vid det specifika fallet.

Från tabell 7 samt 8 kan uppförandekostnaden för olika anläggningar avläsas och från tabell 4 och 5 kan fördröjningsvolymerna för olika lösningarna avläsas. Från resultatet över fördröjningsvolymerna framgår det att tio anläggningar krävde mindre volymer än tre/fyra och en anläggning. Uppförandekostnaden för magasin följde samma mönster som volymerna, där systemet med den minsta volymen också var den billigaste. Kostnaden för uppförande av dammar i Viksjö-modellen följde dock inte samma mönster. I fallet dammar i Viksjö-modellen var en anläggning den billigaste följt av tre anläggningar och tio anläggningar var dyrast. För Kungsängen gäller det motsatt förhållande där kostnaden för dammarna följde volymerna igen. Detta berodde på kostnaden för etablering och vägar i förhållande till totalkostnaden. Eftersom Viksjö-modellen var relativt liten var den totala volymen för anläggningarna förhållandesvis små. Därmed fick etableringskostnaden och vägstykostnaden, som berodde på antalet dammar, en större påverkan som andel av totalkostnaden för Viksjö än vad det fick för den större modellen över Kungsängen. Det kan också nämnas att samma längd på vägar användes för både Viksjö och Kungsängen trots att dammarna var mycket större i Kungsängen vilket kanske inte var helt rättvist. Även rättvisheten i antagandet att etableringen blir 50 000 kronor för varje damm kan ifrågasättas. Framförallt för Viksjö-modellen med tio dammar där avstånden var förhållandesvis små mellan dammarna. Från slutpriset som åskådliggörs i tabell 7 och 8 utläses att dammar var ungefär fyra gånger billigare än magasin och krossdiken. Därmed bör inte

den ökade kostnaden från etablering och vägar ha särskilt stor påverkan på resultatet vid jämförelse mellan olika typer av dagvattenanläggningar. Då är sannolikt underlaget för kostnadsberäkningar och de platspecifika förhållande viktigare att beakta.

Kalkylräntan som ingick i känslighetsanalysen och sammanställdes i tabell 11. Kalkylräntan påverkade enbart driftkostnaden och därmed påverkades dammar mest då dessa hade den högsta driftkostnaden per kubik och högst driftkostnad i förhållande till uppförandekostnaden. Trots att slutkostnaden ökade 23% med en kalkylränta på två procent istället för 4% för tio dammar i Viksjö-modellen så innebar detta bara en ökning på 8 miljoner kronor. På grund av att skillnaden mellan dammar och resterande lösningar var så stor påverkar valet av kalkylräntan inte slutresultatet nämnvärt.

Att kostnaden för systemen med dagvattendammar var billigare än systemen med magasin var väntat då konstruktionen av dagvattendammar är betydligt lättare än magasin. Sammanställningen över kostnaderna i tabell 7,8 visar att dammar var nästan fyra gånger billigare än magasin i systemet med tio anläggningar i Viksjö-modellen, 131,3 miljoner kronor för magasin och 35,4 för dammar. Krossdiken var prismässigt i paritet med kostnaden att anlägga magasin. Att i framtiden därmed gå mot mer lokala lösningar kan därmed antas vara dyrare än exempelvis dagvattendammar, beroende på antalet anläggningar och om ledningar måste byggas eller ej. Dock har lokala lösningar enbart utvärderats för krossdiken medan lokala lösningar ofta innehåller ett flertal olika typer av lösningar. I fall där lokala lösningar används kan vissa ytor som exempelvis fotbollsplaner eller parker användas som översvämningssytor och på så vis kan förmodligen fördröjningsvolymen på krossdiken minskas. Därmed minskar också totalpriset för den lokala lösningen. Enligt Hans Hammarlund är det dock sällan detta görs på grund av att olika förvaltningar inom kommun och stad har olika prioriteringar. Det kan exempelvis handla om vem som är ansvarig för renhållning.

Genom att studera uppförande och drift kostnaden i tabell 7 kan kostnaden för uppförande av tio dammar utläsas till 14,5 och driften till 20,9 miljoner kronor. Drifkostnaden är en större andel av totalkostnaden för dagvattendammar än uppförandekostnaden. För dagvattendammar hade driftkostnaden därmed en stor betydelse för slutkostnaden då uppförandekostnaden var så pass låg. Det är därför viktigt att beakta att drifkostnaden kan variera mycket beroende på utformningen och belastningen på dammen. För vissa dagvattendammar ställs det också krav på rening av dagvattnet. Detta kan innebära ett förändrat utseende på dammen och därmed en förändrad belastning som i sin tur påverkar kostnaden. Även här kommer platspecifika omständigheter ha stor påverkan. För krossdiken och magasin stod driftkostnaden enbart för cirka 10-15% av totalkostnaden.

Livslängderna för olika system har stor betydelse för slutkostnaden. Här antogs att livslängden var 40 år för alla system. Dagvattendammar och magasin bör ha en längre livslängd om dessa sköts på ett korrekt sätt. Att livslängden trots detta valdes till 40 år var på grund av att dammar och magasin behöver ofta rivras innan deras livslängd löper ut på grund av förändringar i området som innebär att annan bebyggelse tar deras plats. Om däremot dagvattendammar och magasin får stå kvar under en längre tid var de 40 år som valdes i denna rapport en nackdel för dessa system. För krossdiken kan fyllnadsmaterialet behöva bytas innan 40 år beroende på belastningen på systemet. Om så är fallet innebär detta en stor kostnad för den lokala lösningen med krossdiken och denna blir därmed mindre Konkurrenskraftig. Att anta en livslängd på 40 år var därmed förmodligen till fördel för

krossdiken.

Dagvattenanläggningar kan tillföra värden utöver enbart fördröja vatten och minimera översvämningar. En dagvattendamm med tillhörande växtlighet kan öka den biologiska mångfalden men även skapa rekreationsområden för människor. Detta är ofta något som eftersträvas, dock kräver detta ofta mycket plats vilket sällan finns att tillgå i större städer. Kostnader för mark är ofta höga i större städer vilket i sin tur skulle öka kostnaden för dagvattenanläggningar. Markkostnader var inget som inkluderades i slutpriset i denna rapport. Om detta skulle göras skulle det förmodligen innebära en fördel för fördröjningsmagasin och nackdel för dagvattendammar och krossdiken. Fördröjningsmagasin kan anläggas under mark och på så sätt kan marken ovanför utnyttjas på andra sätt. Även reningen av dagvatten varierar mellan olika typer av dagvattenlösningar och kan påverka vilken lösningen som är lämplig att använda.

Denna rapport visar tydligt att antalet anläggningar har betydelse för den totala fördröjningsvolymen. Att använda flera små anläggningar var fördelaktigt dels på grund av att det minskade den totala fördröjningsvolymen i systemet men innebar även en fördel när det gällde ombyggnation av ledningar. Detta var ett resultat som var tydligt och bör beaktas i framtiden när förändring av dagvattennät ska utföras. Valet av typen av anläggning och slutkostnaden innehöll mer osäkerheter än modelleringen av fördröjningsvolymen. Dock pekar det mesta på att dagvattendammar var den billigaste lösningen. Valet av anläggning påverkas, som tidigare diskuterats, av många andra aspekter som plats, krav på rening och naturvärden. Det är därmed svårare att uttala sig med säkerhet om vilken typ av dagvattenlösning som bör användas.

6 Slutsatser

Att på ett rättvist sätt beräkna uppförandekostnader och driftkostnader var svårt på grund av att dessa till stor del var platsspecifika. De kostnader som beräknades i denna rapport bör därmed ses som en första indikation på vilken dagvattenlösning som är mest samhällsekonomiskt fördelaktig. Med detta i åtanke kan följande slutsatser dras

- System med flera anläggningar krävde en mindre fördröjningsvolym. Av de olika dagvattenanläggningar som undersöktes krävde magasin den minsta fördröjningsvolymen. Tio anläggningar med magasin var det system som krävde den lägsta volymen.
- Det var stora skillnader i uppförandekostnad mellan olika typer av dagvattenanläggningar. Dagvattendammar var billigast per kubik följt av krossdiken och magasin.
- Tio anläggning med dammar hade den lägsta totalkostnaden både inklusive och exklusive ledningskostnader. Skillnaden i totalpris ökade då ledningskostnaden inkluderas till fördel för tio anläggningar. Då ledningar inkluderas i kostnaden var krossdiken bättre än användning av fördröjningsmagasin. Vid de tillfällen plats finns att tillgå bör dagvattendammar användas för att minimera kostnaden. Dessa dammar bör fördelas ut på flera anläggningar över området för att utnyttja fördröjningsvolymen i ledningsnätet och på så sätt minimera volym och storlek på dagvattendammarna samtidigt som ombyggnaden av ledningsnäten minskar.
- Den fördröjningsvolym som systemen krävde för att uppfylla kraven som ställdes varierade beroende på varaktigheten på regnet. En kortare varaktighet innebar mindre fördröjningsvolymen. Varaktigheten på regnet påverkade krossdiken mer än systemet med tio magasin. Regnet med varaktighet på 24 timmar missgynnade den lokala lösningen med krossdiken.
- Det är primärt mängden regn innan och efter det centrala blocket i regnserien som skiljer mellan de olika varaktigheterna på regnen medan den maximala intensiteten är liknande. Att använda ett längre regn bör därmed också fungera bra för att utvärdera påverkan av kraftig korttidsnederbörd samtidigt som man tar höjd för ett regn med en längre varaktighet.

Referenser

- Wahlström, S., Wedding, B. & Krook, J. (2016). *Fördrojning av dagvatten inom befintlig bebyggelse i östra Lund*. Tekn. rapport. Landskrona. Tillgänglig: <https://docplayer.se/18295052-Fordrojning-av-dagvatten-inom-befintlig-bebyggelse-i-ostra-lund.html> [2019-10-23].
- Affärsvärlden (2019). *NOK/SEK Spot- Senaste valutakursen | Affärsvärlden*. Tillgänglig: <https://www.affarsvarlden.se/bors/valutalistning/72828/> [2019-11-26].
- Andersson, J. & Åkerman, S. (2016). *Kostnadsberäkningar av exempellösningar för dagvatten*. Tekn. rapport 2016-0915-A. Tillgänglig: <https://insynsverige.se/documentHandler.ashx?did=1861340> [2019-09-02].
- Anielka Niedbalski (2015). *Dagvattenutredning för Lycke-Ryr*. Tekn. rapport. Göteborg. Tillgänglig: <https://www.kungalv.se/contentassets/3cd3be524ac24e97820e23fccaeb3fd/dagvattenutredning.pdf> [2019-10-23].
- Blomquist, D., Hammarlund, H., Härle, P. & Karlsson, S. (2016). *Riktlinjer för modellering av spillvattenförande system och dagvattensystem*. Tekn. rapport. Sverige. Tillgänglig: http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2016-15.pdf [2019-10-29].
- Boverket (2015). *Flera lagar reglerar dagvatten*. sv. Tillgänglig: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/temadelar-detaljplan/dagvatten-i-detaljplan/flera-lagar-reglerar-dagvatten/> [2019-09-04].
- California State Water Resources Control Board (2011). *Runoff Coefficient (C) Fact Sheet*. Tekn. rapport. Tillgänglig: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/513.pdf [2019-09-06].
- Dahlström, B. (2010). *Regnintensitet – en molnfysikalisk betraktelse*. Tekn. rapport 2010-05. Tillgänglig: http://vav.griffel.net/filer/Rapport_2010-05.pdf [2019-11-19].
- DHI (2017a). *Mouse Runoff Reference Manual*. Tillgänglig: <http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Cities/MOUSERunoffReference.pdf> [2019-10-24].
- DHI (2017b). *MOUSE pipe flow manual*. Tillgänglig: <http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Cities/MOUSEPipeFlowReference.pdf> [2019-10-29].
- DHI (u.å.). *MIKE URBAN*. en. Tillgänglig: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban> [2019-10-24].
- Eklund, A., Mårtensson, J. A., Bergström, S., Björck, E., Dahné, J., Nordborg, D. & Olsson, J. (2015). *Underlag till Dricksvattenutredningen*. sv. Tekn. rapport, s. 94. Tillgänglig: http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.89529%21/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/klimatologi_14.pdf [2019-09-12].
- Falk, J. (2007). *Erfarenheter av kommunala Dagvattendammar*. Tekn. rapport 2007-14. Stockholm, s. 68. Tillgänglig: http://vav.griffel.net/filer/Rapport_2007-14.pdf [2019-10-22].
- Göteborgs Stad (2018). *Dagvattenutredning/skyfallsutredning*. Tekn. rapport. Tillgänglig: [https://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/Gamlestaden%20-%20Bost%C3%A4der%20vid%20Brettegatan-Plan%20standardf%C3%B6rfarande%20-%20samr%C3%A5d-Dagvatten%20och%20skyfallsutredning/\\$File/Dagvatten%20och%20skyfallsutredning_Brettegatan_181123.pdf?OpenElement](https://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/Gamlestaden%20-%20Bost%C3%A4der%20vid%20Brettegatan-Plan%20standardf%C3%B6rfarande%20-%20samr%C3%A5d-Dagvatten%20och%20skyfallsutredning/$File/Dagvatten%20och%20skyfallsutredning_Brettegatan_181123.pdf?OpenElement) [2019-09-06].
- Hammarlund, H. (2017). *Botkyrka kommun Dagvattendammar Riksten*. Tekn. rapport. Stockholm. Tillgänglig: https://www.botkyrka.se/download/18.10e47a8416020e74dba13ec5/1512730864514/Slutlig%20utredning%20Dagvattendammar_Riksten%20.2017-10-20.pdf [2019-10-23].
- Hammarlund, H. (2018). *Viksjö Dagvattenpark, förprojektering Dimensionering, landskapsgestaltning och kostnads-kalkyl*. Tekn. rapport. Stockholm. [2019-09-05].
- Hammarlund, H. (2019). *Diskussion känslighetsanalys*. Svenska.
- Hansson, S. O. (2012). *Tidsperspektiven i svenska samhällsbeslut*. sv. Tekn. rapport. Stockholm, s. 36. Tillgänglig: <http://www.skb.se/upload/publications/pdf/R-12-06.pdf> [2019-09-19].
- Holmberg, M. (2019). *Diskussion kostnadsunderlag dagvatten*. Svenska.
- Holmgren, A. & Palmquist, A. (2014). *Dagvattenutredning fördetaljplan för bostäder vid Östra Björredsvägen*. sv. Tekn. rapport. Linköping, s. 26. Tillgänglig: [http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/Olofstorp%20-%20Bost%C3%A4der%20i%20Bj%C3%B6rsared-Plan%20-%20Outst%C3%A4llning-Dagvattenutredning/\\$File/Dagvattenutredning.pdf?OpenElement](http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/Olofstorp%20-%20Bost%C3%A4der%20i%20Bj%C3%B6rsared-Plan%20-%20Outst%C3%A4llning-Dagvattenutredning/$File/Dagvattenutredning.pdf?OpenElement) [2019-09-06].

- Järfälla kommun (2016). *Järfälla kommun - Riktlinjer för dagvattenhantering*. Tekn. rapport. Järfälla. Tillgänglig: <https://www.jarfalla.se/download/18.587b8e0515c91377501f1ca9/1560948738901/riktlinjer-dagvattenhantering.pdf> [2019-09-02].
- Johan Ekvall, Monika Strand, Gunilla Lindgren, Torbjörn Johansson, Helene Nilsson, Per Enarsson, Stina Thörnelöf, Gunilla Hjorth, Lotten Sjölander & Thomas Larm (2001). *Rening av dagvatten Exempel på åtgärder och kostnadsberäkningar*. Tekn. rapport. Stockholm. Tillgänglig: <https://docplayer.se/10963883-Del-3-exempel-pa-atgarder-och-kostnadsberakningar-dagvattenstrategi-for-stockholm.html> [2019-09-02].
- Magnussen, K., Wingsted, A., Rasmussen, I. & Reinvang, R. (2015). *Kostnader og nytte ved overvannstiltak*. Tekn. rapport. Tillgänglig: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M305/M305.pdf> [2019-09-13].
- Marques, R. & Viking, I. (2018). *Dagvattenutredning DP Norskavägen*. Tekn. rapport. Göteborg. Tillgänglig: <http://www.gellivare.se/PageFiles/17660/Norska%20v%C3%A4gen%202019/5.%20Dagvattenutredning.pdf> [2019-10-23].
- Norkonsult (2011). *Dagvattenutredning Bostäder vid Majstångsgatan*. Tekn. rapport. Göteborg. Tillgänglig: [https://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/Kungsladug%C3%A5rd%20-%20140%20nya%201%C3%A4genheter%20vid%20Majst%C3%A5ngsgatan%20-Plan%20-%20samr%C3%A5d-Dagvattenutredning/\\$File/dagvattenutredning.pdf?OpenElement](https://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/Kungsladug%C3%A5rd%20-%20140%20nya%201%C3%A4genheter%20vid%20Majst%C3%A5ngsgatan%20-Plan%20-%20samr%C3%A5d-Dagvattenutredning/$File/dagvattenutredning.pdf?OpenElement) [2019-10-23].
- NSVA (u.å.). *Dagvatten - NSVA*. Tillgänglig: <https://www.nsva.se/var-verksamhet/dagvatten/> [2019-10-25].
- Olsson, U. E. (2012). *Kalkylering för produkter och investeringar*. Svenska. 4. utg. Lund: Studentlitteratur AB.
- Pramsten, J. (2015). *Bilaga E - Metodik för beräkning av nettovolymen som ansamlas på markytan vid stora reg*. Tekn. rapport. Stockholm. Tillgänglig: <http://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/tema/klimat/skyfall/skyfallsmodellering/Bilaga-E-Metodik-f%C3%B6r-ber%C3%A4kning-av-nettovolymen-som-ansamlas-p%C3%A5-markytan-vid-stora-regn-SVAB.pdf> [2019-10-29].
- Ramboll (2018). *Dagvattenutredning Kvarnliden 7*. Tekn. rapport. Göteborg. Tillgänglig: https://www.varberg.se/download/18.3d6a7b39168746e0c7b2c8f/1548152241509/SBK-2016-527_2019-01-17_PM%20DVU%20Kvarnliden_20180904.pdf [2019-10-23].
- Ramboll (2019). *BILAGA 3. Exempel på dagvattenanläggningar*. Tekn. rapport. Tillgänglig: <https://www.vargarda.se/download/18.29e435a816baf1b04fe232/1564069926218/dagvattenutredning%20bilaga%203.pdf> [2019-09-06].
- Ratnasingam, S., Perera, K. & Wikramanayake, N. (2014). *RAINFALL INTENSITY-DURATION-FREQUENCY RELATIONSHIP FOR COLOMBO REGION IN SRI LANKA*. Tekn. rapport. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/273448884_RAINFALL_INTENSITY-DURATION-FREQUENCY_RELATIONSHIP_FOR_COLOMBO_REGION_IN_SRI_LANKA [2019-10-29].
- Sage, J., Berthier, E. & Gromaire, M.-C. (2015). Stormwater Management Criteria for On-Site Pollution Control: A Comparative Assessment of International Practices. en. *Environmental Management*, vol. 56 (1), ss. 66–80. DOI: 10.1007/s00267-015-0485-1. Tillgänglig: <http://link.springer.com/10.1007/s00267-015-0485-1> [2019-09-10].
- Sartori, D., Catalano, G., Genco, M., Pancotti, C., Sirtori, E., Vignetti, S. & Del Bo, C., utg. (2015). *Guide to cost-benefit analysis of investment projects: economic appraisal tool for cohesion policy 2014 - 2020*. en. Dec. 2014. Luxembourg: Publ. Office of the Europ. Union. Tillgänglig: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf [2019-09-18].
- SMHI (2019a). *Fördrojningsmagasin för dagvatten i Norrköping, fördjupning | Klimatanpassningsportalen*. Tillgänglig: <http://www.klimatanpassning.se/atgarda/lar-av-andra/anpassningsexempel/fordrojningsmagasin-for-dagvatten-i-norrkoping-fordjupning-1.106848> [2019-10-22].
- SMHI (u.å.[b]). *Regnrabatter i Göteborg, fördjupning | Klimatanpassningsportalen*. Tillgänglig: <http://www.klimatanpassning.se/atgarda/2.3113/regnrabatter-i-goteborg-fordjupning-1.95164> [2019-10-23].
- Stahre, P. (2006). *Sustainability in urban storm drainage : planning and examples*. Stockholm: Svenskt vatten.
- Stockholm vatten och avfall (2017a). *Makadamdike*. Tekn. rapport. Stockholm. Tillgänglig: http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/md_h.pdf [2019-09-02].
- Stockholm vatten och avfall (2017b). *Svackdike*. Tekn. rapport. Stockholm. Tillgänglig: http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/svd_h.pdf [2019-09-02].

- Stockholm vatten och avfall (2017c). *Infiltrationsstråk*. Tekn. rapport. Stockholm. Tillgänglig: http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/infistrak_h.pdf [2019-09-02].
- Stockholm vatten och avfall (2017d). *Skelettjord*. Tekn. rapport. Stockholm. Tillgänglig: http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/skelett_h.pdf [2019-09-02].
- Stockholm vatten och avfall (2017e). *Avsättningsmagasin*. Tekn. rapport. Stockholm. Tillgänglig: http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/avmag_h.pdf [2019-09-02].
- Stockholm vatten och avfall (2017f). *Perkolationsmagasin*. Tekn. rapport. Stockholm. Tillgänglig: http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/perkmag_h.pdf [2019-09-02].
- Stockholm vatten och avfall (2017g). *Dammar och våtmarker*. Tekn. rapport. Stockholm. Tillgänglig: <http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/dammar.pdf> [2019-09-04].
- Stockholm vatten och avfall (2017h). *Nedsänkt växtbädd*. Tekn. rapport. Tillgänglig: <http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/nvb.pdf> [2019-12-16].
- Svensson, G., Bäckman, H. & Ljunggren, O. (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten*. Tekn. rapport. Stockholm. Tillgänglig: http://vav.griffel.net/filer/p110_dell_jan2016.pdf [2019-09-06].
- United States Environmental Protection Agency (2007). *Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development (LID) Strategies and Practices, December 2007, EPA 841-F-07-006*. en. Tekn. rapport. Washington, s. 37. Tillgänglig: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/2008_01_02_nps_lid_costs07uments_reducingstormwatercosts-2.pdf [2019-10-24].
- Upplands-Bro kommun (u.å.[a]). *Om kommunen*. sv. text. Tillgänglig: <https://www.upplands-bro.se/kommun-politik/om-kommunen.html> [2019-11-13].
- Upplands-Bro kommun (u.å.[b]). *Dagvatten*. sv. text. Tillgänglig: <https://www.upplands-bro.se/bo-bygga-miljo/vatten-och-avlopp/kommunalt-avlopp/dagvatten.html> [2019-11-13].
- Vatteninformation Sverige (2019a). *VISS-Vatteninformationssystem Sverige Dagvattenåtgärder*. sv. Tillgänglig: <https://viss.lansstyrelsen.se/Measures/EditMeasureType.aspx?measureTypeEUID=VISSMEASURETYPE000795> [2019-09-19].
- Vatteninformation Sverige (2019b). *VISS-Vatteninformationssystem Sverige Våt damm*. sv. Tillgänglig: <https://viss.lansstyrelsen.se/Measures/EditMeasureType.aspx?measureTypeEUID=VISSMEASURETYPE000785> [2019-09-06].

A Appendix

A.1

Tabell 13: 24 timmars regnet som användes under modellering fördelat på minuter

Tid	Millimeter regn	Tid	Millimeter regn	Tid	Millimeter regn	Tid	Millimeter regn	Tid	Millimeter regn
2010-01-01 00:00		2010-01-01 05:03	0,117696	2010-01-01 10:08	0,350385	2010-01-01 15:13	0,119991	2010-01-01 20:18	0,093969
2010-01-01 00:03	0,0396792	2010-01-01 05:08	0,11892	2010-01-01 10:13	0,332562	2010-01-01 15:18	0,119238	2010-01-01 20:23	0,093732
2010-01-01 00:08	0,086163	2010-01-01 05:13	0,120198	2010-01-01 10:18	0,316836	2010-01-01 15:23	0,118503	2010-01-01 20:28	0,093495
2010-01-01 00:13	0,086406	2010-01-01 05:18	0,121536	2010-01-01 10:23	0,302859	2010-01-01 15:28	0,117789	2010-01-01 20:33	0,093267
2010-01-01 00:18	0,086652	2010-01-01 05:23	0,122937	2010-01-01 10:28	0,290349	2010-01-01 15:33	0,11709	2010-01-01 20:38	0,093039
2010-01-01 00:23	0,086901	2010-01-01 05:28	0,124401	2010-01-01 10:33	0,279084	2010-01-01 15:38	0,116409	2010-01-01 20:43	0,092814
2010-01-01 00:28	0,087156	2010-01-01 05:33	0,12594	2010-01-01 10:38	0,268893	2010-01-01 15:43	0,115746	2010-01-01 20:48	0,092592
2010-01-01 00:33	0,087417	2010-01-01 05:38	0,127554	2010-01-01 10:43	0,25962	2010-01-01 15:48	0,115098	2010-01-01 20:53	0,092373
2010-01-01 00:38	0,087684	2010-01-01 05:43	0,129249	2010-01-01 10:48	0,251151	2010-01-01 15:53	0,114462	2010-01-01 20:58	0,09216
2010-01-01 00:43	0,087954	2010-01-01 05:48	0,131034	2010-01-01 10:53	0,243387	2010-01-01 15:58	0,113844	2010-01-01 21:03	0,091947
2010-01-01 00:48	0,08823	2010-01-01 05:53	0,132918	2010-01-01 10:58	0,236235	2010-01-01 16:03	0,113238	2010-01-01 21:08	0,091737
2010-01-01 00:53	0,088512	2010-01-01 05:58	0,134904	2010-01-01 11:03	0,229635	2010-01-01 16:08	0,112647	2010-01-01 21:13	0,09153
2010-01-01 00:58	0,0888	2010-01-01 06:03	0,137004	2010-01-01 11:08	0,223515	2010-01-01 16:13	0,112071	2010-01-01 21:18	0,091326
2010-01-01 01:03	0,089094	2010-01-01 06:08	0,13923	2010-01-01 11:13	0,217833	2010-01-01 16:18	0,111504	2010-01-01 21:23	0,091125
2010-01-01 01:08	0,089394	2010-01-01 06:13	0,141588	2010-01-01 11:18	0,212538	2010-01-01 16:23	0,110952	2010-01-01 21:28	0,090924
2010-01-01 01:13	0,0897	2010-01-01 06:18	0,144096	2010-01-01 11:23	0,207594	2010-01-01 16:28	0,110412	2010-01-01 21:33	0,090729
2010-01-01 01:18	0,090015	2010-01-01 06:23	0,146763	2010-01-01 11:28	0,202965	2010-01-01 16:33	0,109884	2010-01-01 21:38	0,090534
2010-01-01 01:23	0,090333	2010-01-01 06:28	0,149613	2010-01-01 11:33	0,198624	2010-01-01 16:38	0,109365	2010-01-01 21:43	0,090345
2010-01-01 01:28	0,09066	2010-01-01 06:33	0,152658	2010-01-01 11:38	0,194541	2010-01-01 16:43	0,108858	2010-01-01 21:48	0,090156
2010-01-01 01:33	0,090996	2010-01-01 06:38	0,155922	2010-01-01 11:43	0,190698	2010-01-01 16:48	0,10836	2010-01-01 21:53	0,08997
2010-01-01 01:38	0,091338	2010-01-01 06:43	0,159429	2010-01-01 11:48	0,187071	2010-01-01 16:53	0,107874	2010-01-01 21:58	0,089784
2010-01-01 01:43	0,091686	2010-01-01 06:48	0,163206	2010-01-01 11:53	0,183645	2010-01-01 16:58	0,107397	2010-01-01 22:03	0,089604
2010-01-01 01:48	0,092043	2010-01-01 06:53	0,167292	2010-01-01 11:58	0,180402	2010-01-01 17:03	0,106932	2010-01-01 22:08	0,089424
2010-01-01 01:53	0,092409	2010-01-01 06:58	0,17172	2010-01-01 12:03	0,177327	2010-01-01 17:08	0,106473	2010-01-01 22:13	0,089247
2010-01-01 01:58	0,092784	2010-01-01 07:03	0,176538	2010-01-01 12:08	0,174411	2010-01-01 17:13	0,106026	2010-01-01 22:18	0,08907
2010-01-01 02:03	0,093168	2010-01-01 07:08	0,181797	2010-01-01 12:13	0,171636	2010-01-01 17:18	0,105585	2010-01-01 22:23	0,088899
2010-01-01 02:08	0,093561	2010-01-01 07:13	0,187566	2010-01-01 12:18	0,168996	2010-01-01 17:23	0,105153	2010-01-01 22:28	0,088728
2010-01-01 02:13	0,093963	2010-01-01 07:18	0,19392	2010-01-01 12:23	0,166479	2010-01-01 17:28	0,10473	2010-01-01 22:33	0,088557
2010-01-01 02:18	0,094374	2010-01-01 07:23	0,200958	2010-01-01 12:28	0,164079	2010-01-01 17:33	0,104316	2010-01-01 22:38	0,088392
2010-01-01 02:23	0,094797	2010-01-01 07:28	0,208791	2010-01-01 12:33	0,161787	2010-01-01 17:38	0,103908	2010-01-01 22:43	0,088227
2010-01-01 02:28	0,095229	2010-01-01 07:33	0,217566	2010-01-01 12:38	0,159594	2010-01-01 17:43	0,103509	2010-01-01 22:48	0,088062
2010-01-01 02:33	0,095673	2010-01-01 07:38	0,227469	2010-01-01 12:43	0,157497	2010-01-01 17:48	0,103116	2010-01-01 22:53	0,087903
2010-01-01 02:38	0,096129	2010-01-01 07:43	0,238728	2010-01-01 12:48	0,155487	2010-01-01 17:53	0,102729	2010-01-01 22:58	0,087744
2010-01-01 02:43	0,096597	2010-01-01 07:48	0,251646	2010-01-01 12:53	0,153561	2010-01-01 17:58	0,102351	2010-01-01 23:03	0,087585
2010-01-01 02:48	0,097077	2010-01-01 07:53	0,266628	2010-01-01 12:58	0,15171	2010-01-01 18:03	0,101979	2010-01-01 23:08	0,087429
2010-01-01 02:53	0,097572	2010-01-01 07:58	0,284208	2010-01-01 13:03	0,149934	2010-01-01 18:08	0,101616	2010-01-01 23:13	0,087276
2010-01-01 02:58	0,098079	2010-01-01 08:03	0,305136	2010-01-01 13:08	0,148227	2010-01-01 18:13	0,101256	2010-01-01 23:18	0,087123
2010-01-01 03:03	0,098601	2010-01-01 08:08	0,330483	2010-01-01 13:13	0,146583	2010-01-01 18:18	0,100905	2010-01-01 23:23	0,086973
2010-01-01 03:08	0,099135	2010-01-01 08:13	0,361827	2010-01-01 13:18	0,145002	2010-01-01 18:23	0,100557	2010-01-01 23:28	0,086826
2010-01-01 03:13	0,099687	2010-01-01 08:18	0,401604	2010-01-01 13:23	0,143478	2010-01-01 18:28	0,100218	2010-01-01 23:33	0,086679
2010-01-01 03:18	0,100254	2010-01-01 08:23	0,453798001	2010-01-01 13:28	0,142011	2010-01-01 18:33	0,099882	2010-01-01 23:38	0,086532
2010-01-01 03:23	0,100839	2010-01-01 08:28	0,525384	2010-01-01 13:33	0,140592	2010-01-01 18:38	0,099555	2010-01-01 23:43	0,086388
2010-01-01 03:28	0,101439	2010-01-01 08:33	0,629855999	2010-01-01 13:38	0,139224	2010-01-01 18:43	0,099231	2010-01-01 23:48	0,086247
2010-01-01 03:33	0,10206	2010-01-01 08:38	0,797217001	2010-01-01 13:43	0,137904	2010-01-01 18:48	0,098913	2010-01-01 23:53	0,086106
2010-01-01 03:38	0,102699	2010-01-01 08:43	1,111334999	2010-01-01 13:48	0,136626	2010-01-01 18:53	0,098598	2010-01-01 23:58	0,1150488
2010-01-01 03:43	0,103359	2010-01-01 08:48	1,714476002	2010-01-01 13:53	0,135339	2010-01-01 18:58	0,098292	Summa mm regn	64,557282
2010-01-01 03:48	0,10404	2010-01-01 08:52	5,471015989	2010-01-01 13:58	0,134196	2010-01-01 19:03	0,097989		
2010-01-01 03:53	0,104742	2010-01-01 08:58	8,206524012	2010-01-01 14:03	0,133038	2010-01-01 19:08	0,097689		
2010-01-01 03:58	0,105468	2010-01-01 09:03	2,653070998	2010-01-01 14:08	0,131916	2010-01-01 19:13	0,097398		
2010-01-01 04:03	0,106218	2010-01-01 09:08	1,556739002	2010-01-01 14:13	0,13083	2010-01-01 19:18	0,09711		
2010-01-01 04:08	0,106995	2010-01-01 09:13	1,159964999	2010-01-01 14:18	0,129777	2010-01-01 19:23	0,096825		
2010-01-01 04:13	0,107796	2010-01-01 09:18	0,932054999	2010-01-01 14:23	0,128754	2010-01-01 19:28	0,096546		
2010-01-01 04:18	0,10863	2010-01-01 09:23	0,783669001	2010-01-01 14:28	0,127761	2010-01-01 19:33	0,09627		
2010-01-01 04:23	0,109491	2010-01-01 09:28	0,679037999	2010-01-01 14:33	0,126798	2010-01-01 19:38	0,095997		
2010-01-01 04:28	0,110385	2010-01-01 09:33	0,601305001	2010-01-01 14:38	0,125862	2010-01-01 19:43	0,09573		
2010-01-01 04:33	0,111312	2010-01-01 09:38	0,541202999	2010-01-01 14:43	0,124953	2010-01-01 19:48	0,095469		
2010-01-01 04:38	0,112272	2010-01-01 09:43	0,493314001	2010-01-01 14:48	0,124068	2010-01-01 19:53	0,095208		
2010-01-01 04:43	0,113274	2010-01-01 09:48	0,454242	2010-01-01 14:53	0,123207	2010-01-01 19:58	0,094953		
2010-01-01 04:48	0,114312	2010-01-01 09:53	0,421743	2010-01-01 14:58	0,12237	2010-01-01 20:03	0,094701		
2010-01-01 04:53	0,115395	2010-01-01 09:58	0,394278	2010-01-01 15:03	0,121557	2010-01-01 20:08	0,094452		
2010-01-01 04:58	0,11652	2010-01-01 10:03	0,370758	2010-01-01 15:08	0,120765	2010-01-01 20:13	0,094209		

A.2

Tabell 14: Regnet som användes under modellering fördelat på timme

Timme	Millimeter Regn
1	1,0015542
2	1,090452
3	1,146219
4	1,222323
5	1,3326
6	1,507287
7	1,828521
8	2,635815
9	20,308656
10	10,670562
11	3,502119
12	2,429061
13	1,962564
14	1,699167
15	1,529334
16	1,410492
17	1,322562
18	1,254828
19	1,201002
20	1,157184
21	1,120803
22	1,090107
23	1,063857
24	1,0702128

A.3

Tabell 15: CDS-regn 10 år en timme som användes för jämförelse av magasin och krossdiken

Tid	Millimeter regn
2010-01-01 12:00	0
2010-01-01 12:03	0,3318246
2010-01-01 12:08	0,797217001
2010-01-01 12:13	1,111334999
2010-01-01 12:18	1,714475998
2010-01-01 12:22	5,471016004
2010-01-01 12:28	8,206523998
2010-01-01 12:33	2,653071003
2010-01-01 12:38	1,556738999
2010-01-01 12:43	1,159965001
2010-01-01 12:48	0,932054999
2010-01-01 12:53	0,783609001
2010-01-01 13:00	0,989087399
Totalt	25,706919

A.4

Tabell 16: CDS-regn 10 år 2 timmar som användes vid jämförelse av magasin och krossdike

Tid	Millimeter regn
2010-01-01 11:00	
2010-01-01 11:05	0,285777
2010-01-01 11:10	0,401604
2010-01-01 11:15	0,453798
2010-01-01 11:20	0,525384
2010-01-01 11:25	0,629856001
2010-01-01 11:30	0,797216999
2010-01-01 11:35	1,111335001
2010-01-01 11:40	1,714475998
2010-01-01 11:44	5,471016004
2010-01-01 11:50	8,206523998
2010-01-01 11:55	2,653071003
2010-01-01 12:00	1,556738999
2010-01-01 12:05	1,159964999
2010-01-01 12:10	0,932055001
2010-01-01 12:15	0,783608999
2010-01-01 12:20	0,679038001
2010-01-01 12:25	0,601304999
2010-01-01 12:30	0,541203001
2010-01-01 12:35	0,493314
2010-01-01 12:40	0,454242001
2010-01-01 12:45	0,421743
2010-01-01 12:50	0,394278
2010-01-01 12:55	0,370758
2010-01-01 13:00	0,426591
Totalt	31,064898

A.5

Tabell 17: CDS-regn 10 år 3 timmar som användes vid jämförelse av magasin och krossdike

Tid	Millimeter regn
2010-01-01 10:00	
2010-01-01 10:03	0,209376
2010-01-01 10:08	0,266628
2010-01-01 10:13	0,284208
2010-01-01 10:18	0,305136
2010-01-01 10:23	0,330483
2010-01-01 10:28	0,361827
2010-01-01 10:33	0,401604
2010-01-01 10:38	0,453798001
2010-01-01 10:43	0,525384
2010-01-01 10:48	0,629855999
2010-01-01 10:53	0,797217001
2010-01-01 10:58	1,111334999
2010-01-01 11:03	1,714476002
2010-01-01 11:07	5,471015989
2010-01-01 11:13	8,206524012
2010-01-01 11:18	2,653070998
2010-01-01 11:23	1,556739002
2010-01-01 11:28	1,159964999
2010-01-01 11:33	0,932054999
2010-01-01 11:38	0,783609001
2010-01-01 11:43	0,679037999
2010-01-01 11:48	0,601305001
2010-01-01 11:53	0,541202999
2010-01-01 11:58	0,493314001
2010-01-01 12:03	0,454242
2010-01-01 12:08	0,421743
2010-01-01 12:13	0,394278
2010-01-01 12:18	0,370758
2010-01-01 12:23	0,350385
2010-01-01 12:28	0,332562
2010-01-01 12:33	0,316836
2010-01-01 12:38	0,302859
2010-01-01 12:43	0,290349
2010-01-01 12:48	0,279084
2010-01-01 12:53	0,268893
2010-01-01 13:00	0,304395
Totalt	34,555551

A.6

Tabell 18: CDS-regn 10 år 6 timmar som användes vid jämförelse av magasin och krossdike

Tid	Millimeter regn	Tid	Millimeter regn
2010-01-01 09:00		2010-01-01 12:04	0,493314001
2010-01-01 09:04	0,1110768	2010-01-01 12:09	0,454242
2010-01-01 09:09	0,163206	2010-01-01 12:14	0,421743
2010-01-01 09:14	0,167292	2010-01-01 12:19	0,394278
2010-01-01 09:19	0,17172	2010-01-01 12:24	0,370758
2010-01-01 09:24	0,176538	2010-01-01 12:29	0,350385
2010-01-01 09:29	0,181797	2010-01-01 12:34	0,332562
2010-01-01 09:34	0,187566	2010-01-01 12:39	0,316836
2010-01-01 09:39	0,19392	2010-01-01 12:44	0,302859
2010-01-01 09:44	0,200958	2010-01-01 12:49	0,290349
2010-01-01 09:49	0,208791	2010-01-01 12:54	0,279084
2010-01-01 09:54	0,217566	2010-01-01 12:59	0,268893
2010-01-01 09:59	0,227469	2010-01-01 13:04	0,25962
2010-01-01 10:04	0,238728	2010-01-01 13:09	0,251151
2010-01-01 10:09	0,251646	2010-01-01 13:14	0,243387
2010-01-01 10:14	0,266628	2010-01-01 13:19	0,236235
2010-01-01 10:19	0,284208	2010-01-01 13:24	0,229635
2010-01-01 10:24	0,305136	2010-01-01 13:29	0,223515
2010-01-01 10:29	0,330483	2010-01-01 13:34	0,217833
2010-01-01 10:34	0,361827	2010-01-01 13:39	0,212538
2010-01-01 10:39	0,401604	2010-01-01 13:44	0,207594
2010-01-01 10:44	0,453798001	2010-01-01 13:49	0,202965
2010-01-01 10:49	0,525384	2010-01-01 13:54	0,198624
2010-01-01 10:54	0,629856001	2010-01-01 13:59	0,194541
2010-01-01 10:59	0,797216999	2010-01-01 14:04	0,190698
2010-01-01 11:04	1,111334999	2010-01-01 14:09	0,187071
2010-01-01 11:09	1,714476002	2010-01-01 14:14	0,183645
2010-01-01 11:13	5,471016004	2010-01-01 14:19	0,180402
2010-01-01 11:19	8,206523998	2010-01-01 14:24	0,177327
2010-01-01 11:24	2,653070998	2010-01-01 14:29	0,174411
2010-01-01 11:29	1,556739002	2010-01-01 14:34	0,171636
2010-01-01 11:34	1,159964999	2010-01-01 14:39	0,168996
2010-01-01 11:39	0,932055001	2010-01-01 14:44	0,166479
2010-01-01 11:44	0,783608999	2010-01-01 14:49	0,164079
2010-01-01 11:49	0,679037999	2010-01-01 14:54	0,161787
2010-01-01 11:54	0,601305001	2010-01-01 15:00	0,2080152
2010-01-01 11:59	0,541202999	Totalt	41,552238

A.7

Tabell 19: Andelen reducerad area kopplad till respektive anläggning i Viksjö-modellen tio och tre anläggningar

Anläggning	Kopplad area (hektar)	Volym magasin	Volym dammar
V1	4,7	1323	1556
V2	5,08	1329	1329
V3	5,57	2073	2167
V4	3,2	1682	1694
V5	3,89	1436	1985
V6	5,02	945	983
V7	5,81	1380	1474
V8	3,77	1145	1229
V9	4,73	1651	1688
V10	4,65	1292	1298
Totalt	46,42	14257	15467

Tabell 20: Andelen reducerad area kopplad till respektive anläggning i Viksjö-modellen tio och tre anläggningar

Anläggning	Kopplad area (hektar)	Volym magasin	Volym dammar
V3.1	15,3	5603	6626
V3.2	14,79	4888	4908
V3.3	16,33	4213	4213
Totalt	46,42	14704	15746

A.8

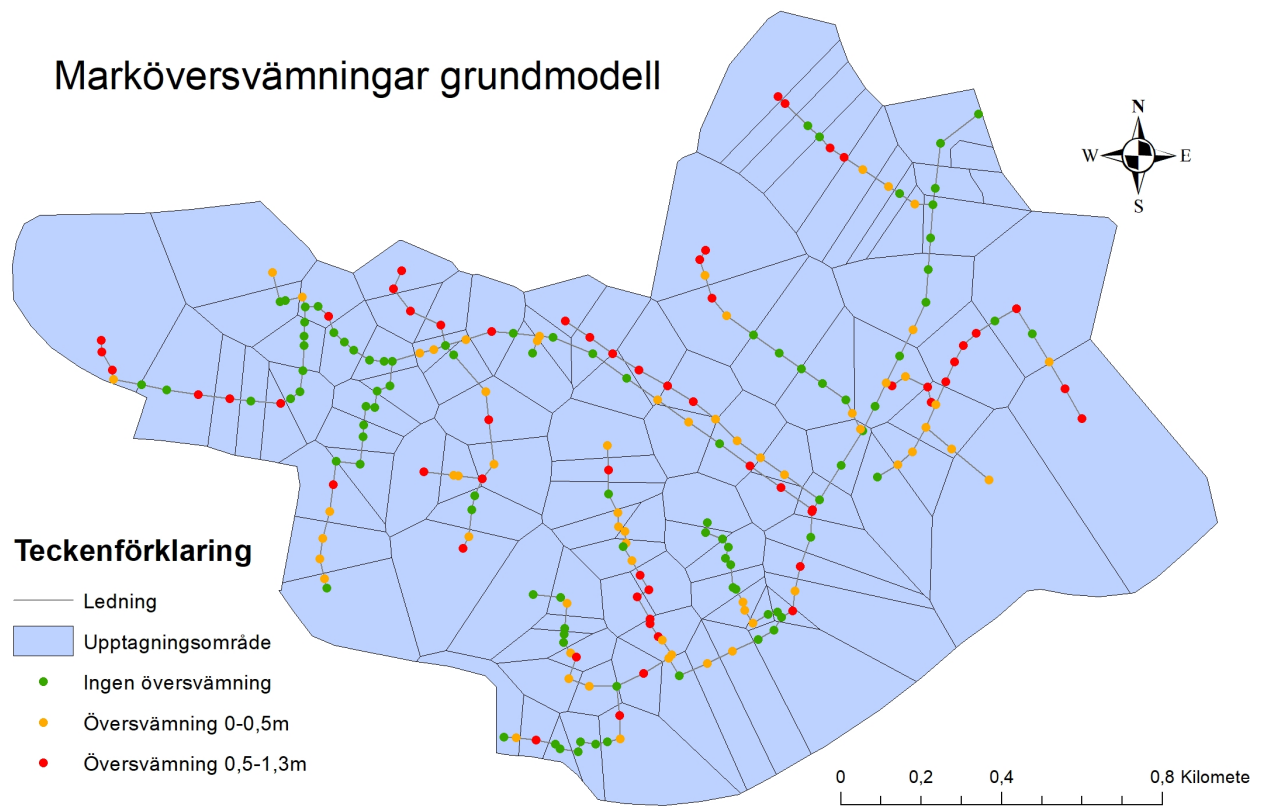
Tabell 21: Andelen reducerad area kopplad till respektive anläggning i Kungsängs-modellen för tio och tre anläggningar

Anläggning	Kopplad area (hektar)	Volym magasin	Volym dammar
K1	12,02	3904	3949
K2	7,48	3844	3874
K3	10,88	3814	3844
K4	13,39	2727	3114
K5	10,09	3055	3069
K6	14,07	4247	4649
K7	11,79	3457	3502
K8	10,29	2935	3980
K9	8,66	2965	2980
K10	12,54	5826	5826
Totalt	111,21	36773	37786

Tabell 22: Andelen reducerad area kopplad till respektive anläggning i Kungsängs-modellen för tio och tre anläggningar

Anläggning	Kopplad area (hektar)	Volym magasin	Volym dammar
K4.1	28,92	6873	7004
K4.2	25,45	9788	11397
K4.3	26,84	10005	10223
K4.4	29,99	16965	17009
Totalt	111,21	43631	45632

A.9



Figur 4: Marköversvämningar för grundmodellen-Viksjö utan förändrade ledningar

A.10

Tabell 23: Höjder i de noder där dammar/magasin var placerade samt vattennivå för dammar/magasin i Viksjö-modellen

Anläggning	Höjd grundnivå (m)	Höjd marknivå (m)	Total höjd (m)	Höjd vattennivå (m)	Skillnad vattennivå och marknivå (m)
V1	34,09	36,56	2,47	36,19	0,37
V2	23,66	25,87	2,21	25,77	0,1
V3	18,05	21,49	3,44	21,34	0,15
V4	22,8	25,49	2,69	25,47	0,02
V5	21,73	24,88	3,15	24,01	0,87
V6	14,1	15,66	1,56	15,6	0,06
V7	12,56	14,9	2,34	14,75	0,15
V8	30,61	32,56	1,95	32,43	0,13
V9	10,3	12,98	2,68	12,92	0,06
V10	9,11	11,17	2,06	11,16	0,01
V3.1	17,89	21,13	3,24	20,63	0,5
V3.2	12,7	15,1	2,4	15,09	0,01
V3.3	9,11	11,17	2,06	11,17	0
V1.1	9,11	11,17	2,06	11,15	0,02

Tabell 24: Höjder i de noder där dammar/magasin var placerade samt vattennivå för dammar/magasin i Kungsängs-modellen

Anläggning	Höjd botten (m)	Höjd marknivå (m)	Total höjd (m)	Höjd vattennivå (m)	Skillnad vattennivå och marknivå
K1	25,28	27,93	2,65	27,9	0,03
K2	24,29	26,89	2,6	26,87	0,02
K3	23,65	26,23	2,58	26,21	0,02
K4	13,5	15,59	2,09	15,33	0,26
K5	8,34	10,4	2,06	10,39	0,01
K6	18,3	21,42	3,12	21,15	0,27
K7	5,48	7,83	2,35	7,8	0,03
K8	2,71	4,71	2	4,68	0,03
K9	3,92	5,92	2	5,91	0,01
K10	-2,21	1,7	3,91	1,7	0
K4.1	11,89	13,5	1,61	13,47	0,03
K4.2	7,92	10,54	2,62	10,17	0,37
K4.3	5,48	7,83	2,35	7,78	0,05
K4.4	-2,21	1,7	3,91	1,69	0,01
K1.1	-2,21	1,7	3,91	1,67	
	0,03				

A.11

Tabell 25: Underlag för beräkning av kostnaden för uppförande av dagvattendammar. Värdet inom parantes är kostnaden exklusive väg och etablering

Rapport	Damm	Kostnad per m ³
Botkyrka kommun		
Dagvattendammar Riksten (Hammarlund 2017)	Södra	962 (926)
	Mellan	708 (674)
	Norra	921 (872)
Viksjö dagvattenpark (Hammarlund 2018)	Södra	1024 (992)
Medelvärde		904 (866)

Tabell 26: Underlag till kostnadsberäkning av uppförandekostnad av fördröjningsmagasin

Rapport	Typ av magasin	Kostnad per m ³
Rening av dagvatten Exempel på åtgärder och kostnadsberäkningar (Johan Ekvall et al. 2001)	Sedimenteringsmagasin - Betonggjutning	7800-8900
Fördröjningsmagasin för dagvatten i Norrköping (SMHI 2019a)	Rörmagasin plast	7900
	Kassetter plast	9800
Kostnader og nytte ved overvannstiltak (Magnussen et al. 2015)	Fördröjningsmagasin - Betongrör	4900- 13000
	Fördröjningsmagasin - Gjutenbassäng	7900-9500
	Fördröjningsmagasin- Glasfiberrör	2100-5300
Dagvattenutredning Bostäder vid Majstångsgatan (Norkonsult 2011)	Makadamfyllt magasin	3929
Dagvattenutredning för Lycke-ryr (Anielka Niedbalski 2015)	Dagvattenkassetter	9200
Dagvattenutredning Kvarnliden 7 (Ramboll 2018)	Rörmagasin plast	10000-15000
Medelvärde	-	8135

Tabell 27: Underlag till kostnadsberäkning för uppförande av de olika lokala lösningarna

Lösning	Rapport	Kostnad
Infiltrationsstråk	Kostnader og nytte ved overvannstiltak (Magnussen et al. 2015)	900 kr/m ²
	Dagvattenutredning Kvarnliden 7 (Ramboll 2018)	1900 kr/m ²
Krossdike	Dagvattenutredning DP Norskavägen (Marques & Viking 2018)	1500kr/m
	Kostnader og nytte ved overvannstiltak (Magnussen et al. 2015)	500 kr/m ²
Svackdike	Dagvattenutredning DP Norskavägen (Marques & Viking 2018)	1500 kr/m
	Fördröjning av dagvatten inom befintlig bebyggelse i östra Lund (Wahlström, Wedding & Krook 2016)	1875 kr/m ²
Växtbädd	Kostnader og nytte ved overvannstiltak	1400 kr/m ²
	Kostnadsberäkningar av exempellösningar för dagvatten (Andersson & Åkerman 2016)	3200 kr/m ²
	Regnrabatter i Göteborg, fördjupning (SMHI u.å.[b])	2750 kr/m ²
	Dagvattenutredning DP Norskavägen (Marques & Viking 2018)	4000 kr/m ²

A.12

Tabell 28: De ledningskostnader som erhöles utifrån beräknade schablonsvärden

Diameter (m)	Kostnad per m
0,2 till 0,4	3000
0,5 till 0,7	8000
0,8 till 0,9	15000
1 till 1,3	25000
1,4 till 2	55000
2 till 2,2	80000

A.13

Tabell 29: Antal meter förändrad ledningar för respektive dammsystem i Viksjö modellen fördelat på de diameter och antal meter ledning. Dimension anger storleken på den nya ledningen

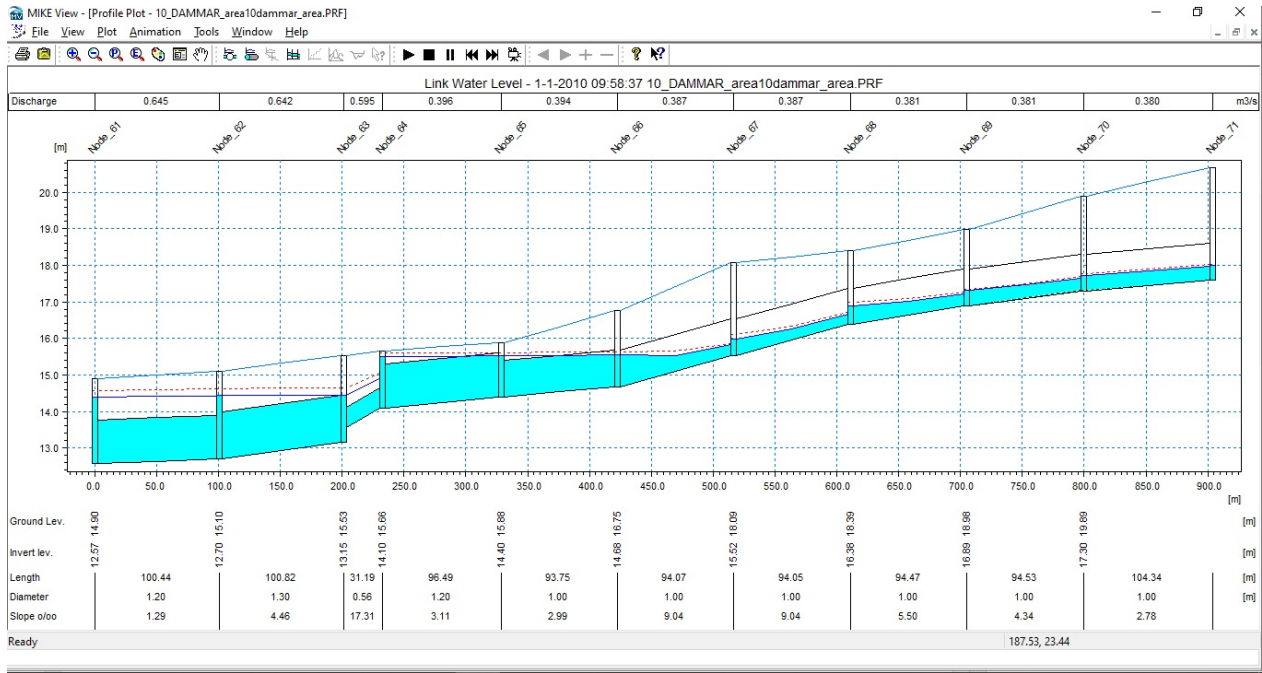
Diameter på ledning(m)	Viksjö tio anläggningar antal meter	Viksjö tre anläggningar antal meter	Viksjö en anläggning antal meter
0,3	126	126	126
0,4	998	928	928
0,5	1771	1878	1868
0,6	1723	1754	1682
0,7	191	691	720
0,8	292	429	482
0,9	299	608	608
1	225	310	300
1,1	39	260	199
1,2	101	51	61
1,3	10	155	533
1,4	-	312	575
1,5	-	75	10
1,6	-	475	141
1,7	-	73	-
1,8	-	-	110
1,9	-	-	266
2	-	-	113
2,1	-	-	42
2,2	-	-	248
2,3	-	-	75
2,4	-	-	148
Totalt	5775	8125	9232

A.14

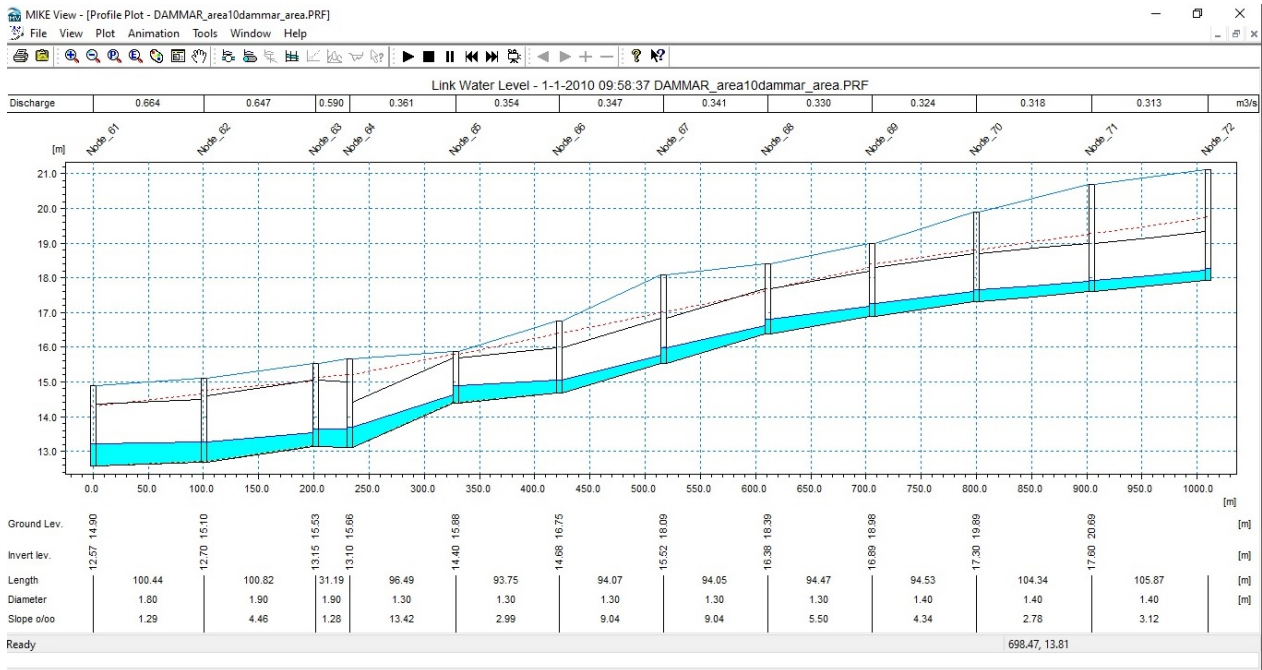
Tabell 30: Antal meter förändrad ledningar för respektive system i Kungsängen modellen fördelat på de diameter och antal meter ledning. Dimension anger storleken på den nya ledningen

Diameter på ledning(m)	Kungsängen tio anläggningar antal meter	Kungsängen fyra anläggningar antal meter	Kungsängen en anläggning antal meter	Krossdike
0,2	197	197	197	-
0,3	2485	2440	2450	225
0,4	2990	2947	2934	207
0,5	1887	1887	1945	175
0,6	1503	1729	1729	87
0,7	630	650	650	-
0,8	648	577	577	92
0,9	725	732	790	101
1	25	488	399	-
1,1	-	456	456	-
1,2	-	-	-	-
1,3	80	337	337	-
1,4	-	685	637	-
1,5	-	992	992	-
1,6	-	81	91	-
1,7	-	28	18	-
1,8	-	-	-	-
1,9	-	154	-	-
2	-	-	-	-
2,1	-	-	-	-
2,2	-	-	-	-
2,3	-	-	-	-
2,4	-	-	-	-
Diken	-	35	1851	-
Totalt	11170	14415	16053	887

A.15

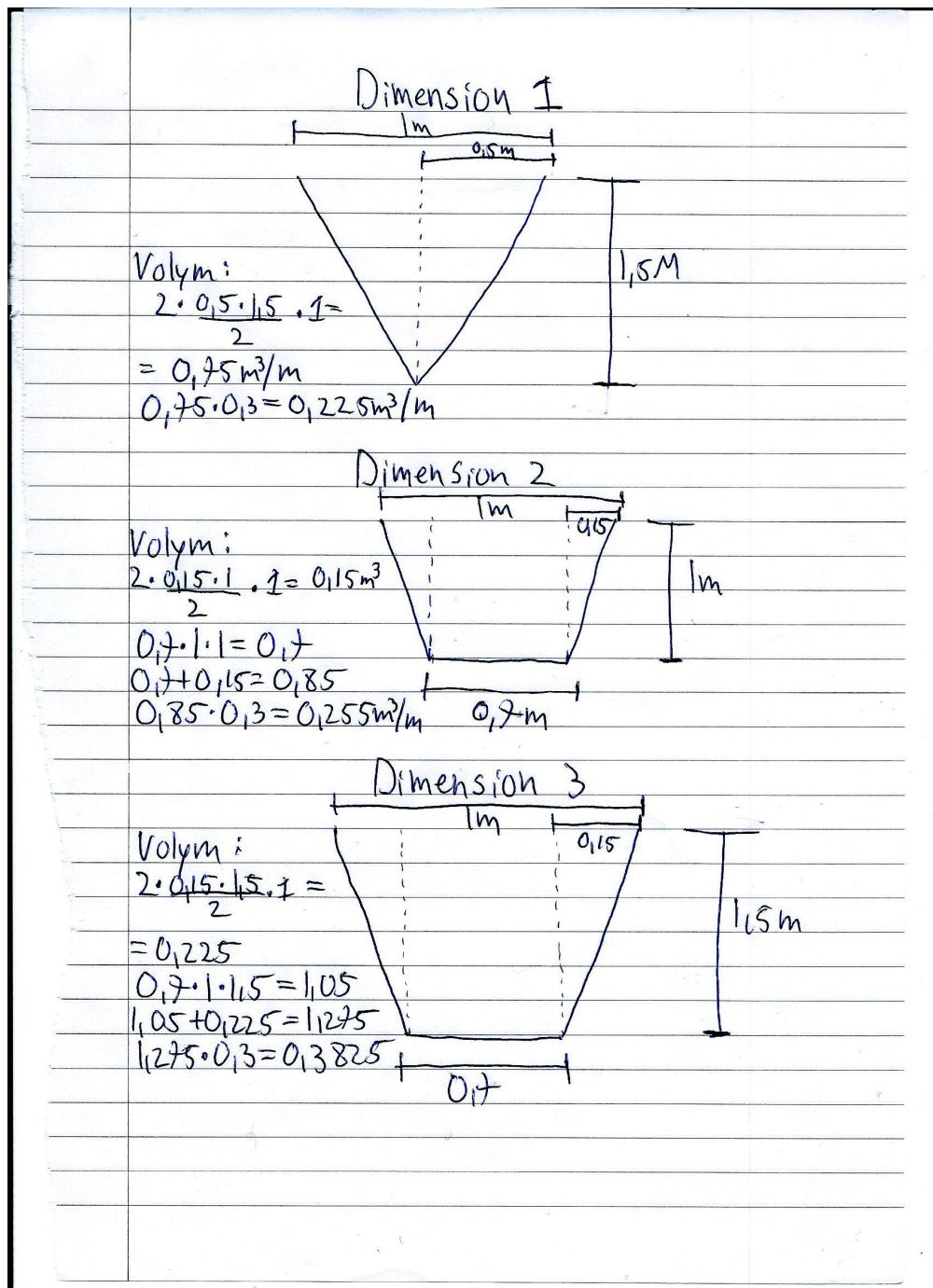


Figur 5: Ledningar tio dammar



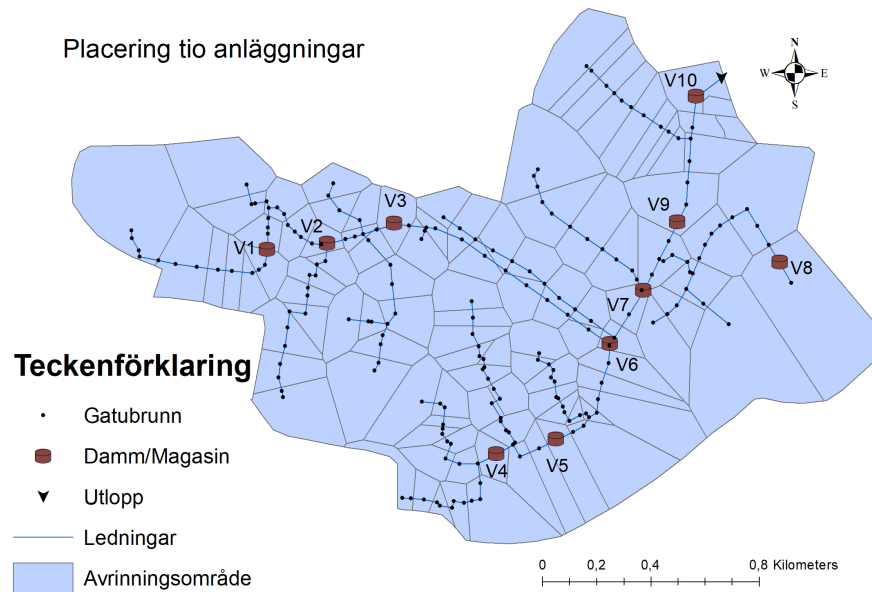
Figur 6: Ledningar en damm

A.16

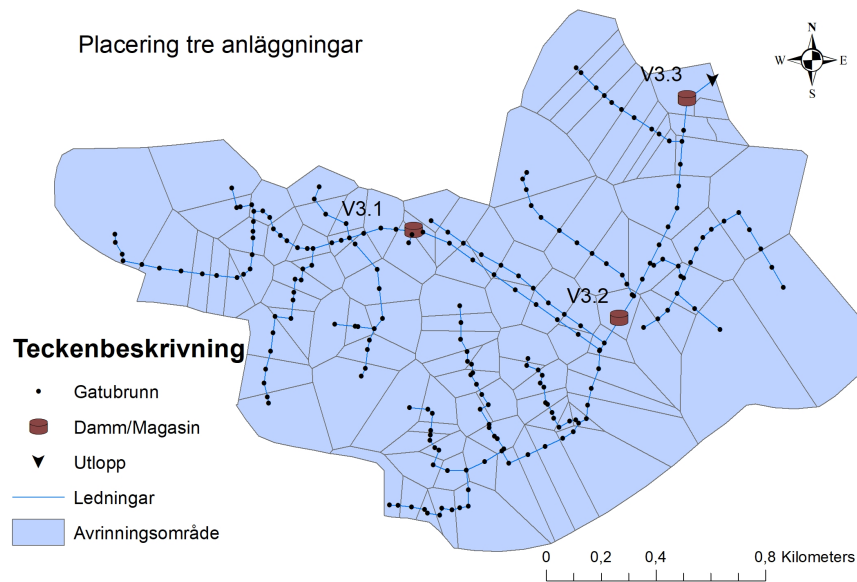


Figur 7: Tre olika dimensioner av krossdiken som undersöktes i känslighetsanalysen

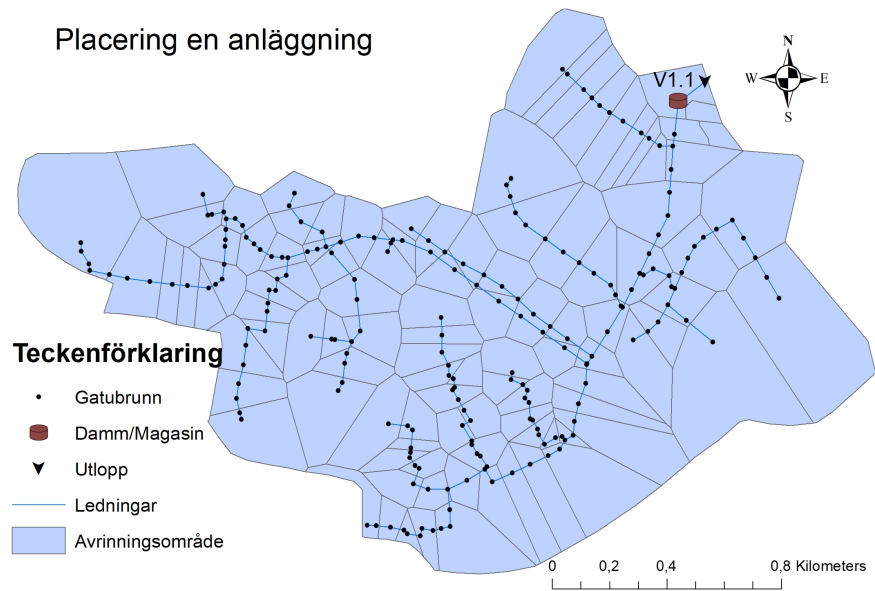
A.17



Figur 8: Placering av de tio anläggningarna i Viksjö-modellen



Figur 9: Placering av de tre anläggningarna i Viksjö-modellen



Figur 10: Placering av anläggningen i Viksjö-modellen i systemet med en anläggning

A.18

Tabell 31: Fördröjningsvolym för den lokala lösningen för Viksjö.

Regn typ	Total regnvolym (mm)	Total regnvolym med klimatfaktor (mm)	Borttaget regn (mm) med klimatfaktor	Volym krossdiken (m ³)
10år 24h	64,6	80,7	44,4	20613

A.19

Tabell 32: Volym för 20-årsregn med olika varaktighet samt slutvolym för krossdiken vid olika varaktigheter.

Regn	Regnvolym (mm)	Regnvolym med klimatfaktor (mm)	Borttaget regn med klimatfaktor (mm)	Volym krossdiken (m ³)
20år 1h	32,2	40,2	31,9	14806
20år 2h	38,8	48,5	39,4	18290
20år 3h	43,0	53,7	41,9	19452
20år 6h	51,2	64,0	45,0	20903

Tabell 33: Volym för 10-årsregn med olika varaktighet samt slutvolym för krossdiken vid olika varaktigheter.

Regn	Regnvolym (mm)	Regnvolym med klimatfaktor (mm)	Borttaget regn med klimatfaktor (mm)	Volym krossdiken (m ³)
10år 1h	25,7	32,1	24,4	11323
10år 2h	31,0	38,8	28,8	13355
10år 3h	34,6	43,2	30,6	14226
10år 6h	41,5	51,9	33,75	15677