CHALMERS

# Regnvattentunnor

## Framtidens dagvattenhanteringslösning i Göteborg?

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

VICTOR ANDERSSON

JONATAN BRANDÉN

EMMA WALLBERG

ANNA WERNER

Institutionen för Bygg- och miljöteknik
*Avdelningen för Vatten Miljö Teknik*
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2016

KANDIDATARBETE 2016:70

# Regnvattentunnor

Framtidens dagvattenhanteringslösning i Göteborg?

VICTOR ANDERSSON

JONATAN BRANDÉN

EMMA WALLBERG

ANNA WERNER

Institutionen för Bygg- och miljöteknik
*Avdelningen för Vatten Miljö Teknik*
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2016

Regnvattentunnor
Framtidens dagvattenhanteringslösning i Göteborg?

VICTOR ANDERSSON
JONATAN BRANDÉN
EMMA WALLBERG
ANNA WERNER

© Victor Andersson, Jonatan Brandén, Emma Wallberg, Anna Werner, 2016.

Kandidatarbete 2016:70
Institutionen för Bygg- och miljöteknik
*Avdelningen för Vatten Miljö Teknik*
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon +46 (0)31-772 1000

Omslag:
Illustration av att den dagvattenhanteringen vi använder idag inte alltid är tillräcklig (Kim, 2011). *CC-BY*

Göteborg, Sverige 2016

## Förord

Denna rapport är ett kandidatarbete skrivet under våren 2016 vid institutionen Bygg- och miljöteknik, avdelningen Vatten Miljö Teknik på Chalmers tekniska högskola. Arbetet behandlar utformningen av regnvattentunnor som en möjlig lösning på problem gällande dagvattenhantering i Göteborg.

Vi som skrivit arbetet är fyra studenter som läser tredje året på civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad vid Chalmers tekniska högskola. Rapporten är initierad av förvaltningen Kretslopp och Vatten inom Göteborgs stad. Förvaltningen undersöker för närvarande nya typer av lösningar för att hantera dagvatten och vill därför undersöka användning av regnvattentunnor närmare.

Vi vill passa på att tacka de personer som gjort denna rapport möjligt. För vägledning, stöttning och råd under arbetet vill vi tacka våra handledare Thomas Pettersson och Ekaterina Sokolova. För all hjälp angående dagvattenhantering i Göteborg vill vi tacka Jenny Lindh, Linn Wahlgren och Emelie Alenius på Kretslopp och Vatten. Vi vill även tacka företaget DHI Sverige AB, som bistått med licenser till MIKE URBAN. För all hjälp med modelleringen i MIKE URBAN vill vi, sist men inte minst, tacka Jonas Persson på Kretslopp och Vatten, som ställt upp med vägledning och teknisk expertis. Utan er hjälp hade detta arbete inte kunnat genomföras.

Regnvattentunnor - Framtidens dagvattenhanteringslösning i Göteborg?

Victor Andersson, Jonatan Brandén, Emma Wallberg, Anna Werner

## Sammanfattning

Göteborg har idag återkommande problem med hantering av dagvatten. Vid extrema regn riskerar de kombinerade ledningarna i stadens avloppsledningsnät att överbelastas, vilket kan leda till källaröversvämningar och utsläpp av avloppsvatten i naturen, så kallade bräddningar. Dessutom får Göteborgs reningsverk svårt att behandla allt avloppsvatten vid intensiva regn då belastningen ökar ju högre vattenflödena är. Syftet med rapporten har varit att utvärdera om regnvattentunnor kan vara en lösning på dessa problem och dessutom analysera huruvida det även är en hållbar lösning i framtiden. För att åstadkomma detta har en regnvattentunna utformats, implementerats i ett studieområde i Göteborg och modellerats i avseende att se hur effektivt den kan tillvarata dagvatten under år 2014.

För att kunna studera regnvattentunnornas effekt användes ett tidigare översvämningsdrabbat område av stadsdelen Örgryte i Göteborg som studieområde. Med hjälp av modellerings-programmet MIKE URBAN simulerades regnvattentunnornas effekt på både bräddningar och översvämningar. Resultatet från simuleringarna visade att det inte uppstod någon översvämning år 2014 men att tunnorna skulle kunna reducera bräddningarna i studieområdet med uppemot 70 %. Dessutom utfördes simuleringar för att undersöka hur effektiva regnvattentunnorna skulle vara år 2050 med en förenklad framtidsprognos. Den totala bräddningsvolymen minskade då med 15 %.

Resultatet visade dock ingen signifikant minskning av flödestopparna på reningsverket, varken från studieområdet eller med regnvattentunnor utplacerade i fler villaområden i Göteborg. För att utreda om regnvattentunnor skulle vara en kostnadseffektiv lösning beräknades slutligen ett värderingstal. Det uträknade värdet antyder att regnvattentunnor skulle kunna vara en bra lösning för Göteborgs stad. Sammanfattningsvis skulle fler studier om regnvattentunnor behöva göras för att styrka säkerheten i rapporten samt studera andra aspekter av regnvattentunnor.

Rain barrels - A future solution to the storm water management in Göteborg?

Victor Andersson, Jonatan Brandén, Emma Wallberg, Anna Werner

## Abstract

Göteborg today has recurring problems with the city's stormwater management. During extreme rain there is a risk that the combined system in the sewage network will be overloaded, which can lead to flooding's in basements and discharges of waste water in nature, so-called overflows. Furthermore has the treatment plant in Göteborg difficulties to process all waste water during heavy rain, due to that the strain on the sewage plant increases with higher water flows. The purpose of the report was to evaluate whether rain barrels could be a solution to these problems and also to analyze whether it is a viable solution for the future. To accomplish this a rain barrel was designed and implemented in a study area in Göteborg. Furthermore was a model created in order to analyze the rain barrel's effectiveness in utilizing storm water in the year of 2014.

In order to study the rainwater barrels impact on floods and overflows, a previously flooded area in the district of Örgryte in Göteborg was used as study area. Simulations in the modelling software MIKE URBAN in that area showed that there were no floods in 2014 but that the rain barrels could reduce overflows by 70%. Simulations were also made to see how effective the rain barrels would be in the year of 2050. With a simplified future forecast the total overflow was then reduced by 15%. The results of the report showed no significant reduction in peak flows at the treatment plant though, neither from the study area nor if rain barrels were distributed in additional residential areas of Göteborg. Finally calculations were made, in order to evaluate if rain barrels would be a cost-effective solution, which showed that rain barrels could be a good solution for Göteborg. In conclusion, more studies of rain barrels have to be done to verify the results in this report and also in order to study other aspects of rain barrels.

## Ord- och begreppslista

**Blockregn -** Regnet antas ha samma intensitet över en viss period för att underlätta beräkningar.

**Bräddavlopp** - Anordning som möjliggör avledning av överskottsvatten då tillrinningen är större än anläggningens kapacitet.

**Bräddning -** Utsläpp av avloppsvatten på grund av hydraulisk överbelastning.

**Dagvatten** - Ytavrinnande vatten från regn eller snösmältning.

**Dränvatten** - Vatten som kommer från dränering av husgrunder och utdikningsområden.

**Duplikatsystem** - Separerat avloppssystem med skilda ledningar för spillvatten och dagvatten.

**Gryaab** - Det kommunala bolag som svarar för avloppshanteringen i Göteborgsregionen.

**Hydrograf** - En figur som visar hur vatten föringen ändras över tiden.

**Kombinerat system** - Avloppssystem med gemensam ledning för spill-, dag- och dränvatten.

**Kretslopp och Vatten** - Kommunal förvaltning som jobbar med vattenförsörjning och avloppshantering i Göteborgs stad.

**Ledningsnät** - Ledningar och pumpstationer i avloppssystemet.

**Personekvivalent** - Schablonmässigt uträknad föroreningsbelastning per person och dygn som används vid dimensionering av enskilda avlopp.

**Recipient** - Mottagare av utsläpp av obehandlat och behandlat vatten.

**Regnintensitet** - Den mängd regn som faller per tidsenhet, ett mått på regnets styrka.

**Regnmängd -** Den mängd regn som faller på en yta, mäts ofta i millimeter.

**Regnserie** - Grafisk eller numerisk presentation av uppmätt mängd regn eller regnintensitet under en tidsperiod.

**Rinntid -** Den maximala tid det tar för regn som faller inom avrinningsområdet att rinna till den punkt där dagvatten från området avleds.

**Ryaverket –** Ett reningsverk i Göteborg.

**Separat system** - Separerat system med rörledning för spillvattnet medan dagvattnet leds i öppna lösningar, såsom rännsten eller diken.

**SMHI** - Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.

**Spillvatten** - Förorenat vatten från hushåll, industrier o.d.

## Innehållsförteckning

1 Inledning ... 1
1.1 Bakgrund ... 1
1.2 Syfte ... 1
1.3 Frågeställningar ... 2
1.4 Metod ... 2
1.5 Avgränsningar ... 2
2 Litteraturstudie om dagvattenhantering ur lokalt och globalt perspektiv ... 3
2.1 Avloppshantering i Göteborg ... 3
2.2 Problem orsakade av dagvatten i Göteborg ... 3
2.3 Regnvattentunnor och andra dagvattenhanteringslösningar ... 4
2.3.1 Tidigare studier av regnvattentunnor ... 5
2.3.2 Andra lösningar på dagvattenhantering ... 5
2.4 Lokalt omhändertagande av dagvatten och faktorer som påverkar det ... 6
2.4.1 Infiltration ... 7
2.4.2 Hårdgjord yta ... 7
2.5 Framtida väderförändringar i Sverige ... 7
3 Metod ... 9
3.1 Utveckling av regnvattentunna ... 9
3.1.1 Beräkningsgång av dagvattnets flödesvariationer i en tunna ... 10
3.1.2 Val av den optimala regnvattentunnan för studieområdet ... 12
3.2 Modellering av regnvattentunnor med hänsyn till översvämningar och bräddningar i studieområdet ... 13
3.2.1 Modelleringsprogrammet MIKE URBAN ... 13
3.2.2 Simuleringar för år 2014 ... 14
3.2.3 Simulering utifrån prognoser för regn år 2050 ... 15
3.3 Påverkan på Ryaverket vid storskalig användning av regnvattentunnor ... 16
3.4 Kostnadsberäkning på regnvattentunnor genom värderingstal ... 18
4 Resultat ... 20
4.1 Dimensionering av en regnvattentunna ... 20
4.2 Simuleringsresultat för översvämningar och bräddningar i studieområdet ... 21
4.2.1 Simuleringar för år 2014 ... 22
4.2.2 Simuleringar för år 2050 ... 24
4.3 Påverkan på Ryaverket vid storskalig användning av regnvattentunnor ... 25
4.4 Regnvattentunnornas kostnadseffektivitet ... 26

5 Diskussion ..... 28
5.1 Valet av regnvattentunna ..... 28
5.1.1 Utformning av regnvattentunnans dimensioner ..... 28
5.1.2 Regnvattentunnans automatiska tömning ..... 28
5.1.3 Svårigheter med infiltration och erosion ..... 29
5.2 Osäkerheter i modelleringen av regnvattentunnor ..... 29
5.2.1 Skillnader i MATLAB och MIKE URBAN ..... 30
5.2.2 Upptäckta fel i MIKE URBAN-modellen ..... 30
5.2.3 Regnvattentunnornas effektivitet år 2050 ..... 31
5.3 Rimlighetsanalys av regnvattentunnornas påverkan på Ryaverket ..... 32
5.4 Regnvattentunnorna kostnadseffektivitet ..... 32
5.5 Förslag till eventuellt efterföljande studier ..... 33
Slutsats ..... 36
Källförteckning ..... 37
Bilagor ..... i
Bilaga A Jordartskartor ..... i
Bilaga B Energiekvationen ..... iii
Bilaga C MATLAB-kod ..... iv
C1 Dimensionering av regnvattentunnan ..... iv
C2 Beräkningar på Ryaverket ..... ix
Bilaga D Tilllägg till beräkningarna kring påverkan på Ryaverket ..... xv

# 1 Inledning

Samhällen världen över är uppbyggda och anpassade efter rådande klimat, men på grund av klimatförändringarna kommer dessa förutsättningar att förändras. Enligt SMHI kommer bland annat skyfallen att öka i Sverige som en följd av att klimatet förändras (SMHI, 2015a), vilket kommer leda till att de redan kraftigt belastade avloppsledningssystemen blir överbelastade. Detta innebär att det är viktigt att hitta effektiva metoder för att ta hand om de ökade regnmängderna.

## 1.1 Bakgrund

Göteborg är en av de kommuner i Sverige där det regnar mest (SMHI, 2016), vilket har lett till att staden idag har återkommande problem med hanteringen av dagvatten (Göteborgs Stad, 2016a). Göteborgs avloppsledningssystem består till största delen av ett duplikatsystem där spill- och dagvatten avskiljs från varandra. En fjärdedel av systemet är dock ett kombinerat system, vilket innebär att spill- och dagvatten går i samma ledning (Göteborg Vatten, Kretsloppskontoret & Gryaab, 2007). Det betyder att de kombinerade systemen utsätts för stora variationer i flöde vid olika tidpunkter. Vid extrema regn kan det medföra att ledningskapaciteten överskrids, vilket kan leda till översvämningar i källare och på gator. För att minska denna risk för översvämningar används så kallade bräddavlopp, där överskottsvattnet leds bort från området ut till recipienten (Göteborg Vatten, Kretsloppskontoret & Gryaab, 2007). Bräddningar är dock något som i största mån bör undvikas eftersom föroreningar från avloppsvattnet då släpps rätt ut i naturen. Den varierande storleken på dagvattenflödet påverkar även reningsverket då flödet, och därmed påfrestningen på reningsverket, är betydligt större vid stora regnmängder.

För att minska risken för överbelastning på ledningarna samt för att dämpa flödestopparna i Ryaverket, Göteborgs reningsverk, behöver nya metoder för dagvattenhantering tas fram. System som redan är i bruk i Göteborg är exempelvis gröna tak, regnträdgårdar, byggnationer av separerade ledningar och fördröjningsmagasin (Göteborgs Stad, 2016b). En gammal metod som dock inte prövats i stor skala i Sverige är att koppla bort stuprören från ledningsnätet och leda takvattnet ner i regnvattentunnor istället.

Tidigare internationella studier (Insurance Bureau of Canada, 2011), har visat att regnvattentunnor kan ge goda resultat i att fördröja delar av dagvattnet, vilket i så fall resulterar i minskad belastning på ledningarna och reningsverken. Följaktligen skulle implementering av regnvattentunnor potentiellt kunna vara en del av lösningen på Göteborgs problematik med dagvatten. Detta genom att både kunna minska mängden bräddningar, minska risken för översvämningar samt avlasta Ryaverket. Kretslopp och Vatten, den förvaltning inom Göteborgs Stad som ansvarar för hanteringen av avloppsvattnet fram till Ryaverket, är således intresserade av att undersöka denna metod.

## 1.2 Syfte

Denna rapport redogör för i vilken utsträckning regnvattentunnor, genom bortledning av dagvatten, kan avlasta avloppssystemet i Göteborg. Genom att analysera regnvattentunnornas förmåga att minska bräddningar och översvämningar utvärderas tunnornas effekt och i vilken utsträckning flödestopparna på Ryaverket kan minskas. Dessutom är syftet att undersöka om regnvattentunnor skulle vara en kostnadseffektiv metod jämfört med andra alternativa dagvattenhanteringslösningar, samt om lösningen är hållbar år 2050.

## 1.3 Frågeställningar

För att kunna uppnå syftet konkretiseras det och delas upp i följande frågeställningar:

- Vilka dimensioner bör en regnvattentunna ha för att kunna tillvarata så mycket dagvatten som möjligt, i anslutning till ett tak?
- Vilken påverkan skulle regnvattentunnorna ha på bräddningar och översvämningar om de placeras ut i ett begränsat område i Göteborg? Hur skulle, utifrån prognoser på regn år 2050, tunnornas påverkan på detta ändras om 35 år?
- Om regnvattentunnor placeras ut i de villaområden i Göteborg som är kopplade till det kombinerade systemet, hur mycket vatten skulle då kunna ledas bort från ledningsnätet och i vilken utsträckning skulle flödestopparna på Ryaverket minska?
- Är regnvattentunnor en kostnadseffektiv lösning för Göteborgs Stad? Vilka andra typer av lösningar används i Göteborg och hur kostnadseffektiva är dessa?

## 1.4 Metod

Rapporten är grundad på en modelleringsstudie utförd i samarbete med Kretslopp och Vatten. Modelleringsstudien har utförts på ett översvämningsdrabbat område i stadsdelen Örgryte. Utöver detta har dimensionerna på regnvattentunnorna tagits fram utifrån hydrauliska beräkningar, utförligare metod beskrivs i kapitel 3. En litteraturstudie är gjord på tidigare undersökningar om regnvattentunnor och dess användningsområden, samt på hur avloppsledningssystemet fungerar både generellt och mer specifikt i Göteborg. Dessutom har experter på relevanta verksamheter rådfrågats.

## 1.5 Avgränsningar

För att kunna analysera i vilken utsträckning regnvattentunnorna skulle kunna avlasta avloppsystemet används ett studieområde i en del av stadsdelen Örgryte i Göteborg. Tunnorna antas kunna installeras i villaområden som är kopplade till kombinerat system. Större flerbostadshus, industrifastigheter och andra typer av större fastigheter är inte med i studien eftersom de antas svårare att implementera tunnorna på. De områden i gränskommuner till Göteborg som är kopplade till Ryaverket tas inte heller med i studien.

All nederbörd antas vara i flytande form, det vill säga enbart regn, även om det under perioder av året kan vara snö eller hagel. Således tas heller inte någon hänsyn till eventuell snösmältning. Regnvattentunnorna antas stå utomhus hela året men rapporten bortser ändå ifrån hur tunnorna påverkas av kyla och eventuell frost, detta eftersom det inte anses vara ett större problem i det geografiska området som rapporten gäller.

Avdunstning är en kontinuerlig process, vilket inte ger speciellt stor effekt vid regn (Butler & Davies, 2011), och kommer därför inte heller att tas hänsyn till. För att få en bild av regnvattentunnornas effekt har år 2014 valts att studera. Detta eftersom det enligt SMHI:s klimatolog Sverker Hellström (personlig kommunikation, 2016-03-17), kan anses vara ett medelår sett utifrån den senaste femårsperioden.

Rapporten tar inte hänsyn till hur distribution, installation och eventuell marknadsföring av tunnorna skulle kunna genomföras eller i vilken omfattning villaägare är intresserade av produkten. Detta är något som får utredas vidare om användningen av regnvattentunnor skulle visa sig vara en bra lösning för Göteborgs Stad. Likaså är utformningen av regnvattentunnan endast ett förslag och kan vidareutvecklas.

# 2 Litteraturstudie om dagvattenhantering ur lokalt och globalt perspektiv

Sverige är ett av de länder i världen som har störst tillgång till rent vatten, men det betyder inte att rent vatten kan tas för givet (Svenskt Vatten, 2016). I Sverige finns bland annat problem med övergödning och algblomning i sjöar och hav, samt svårigheter med att rena vatten från farliga och svårnedbrytbara ämnen i reningsverken. Ett kommande problem som blir mer och mer synligt är klimatförändringar som förväntas bidra med fler och intensivare regn (SMHI, 2015a). De ökade regnmängderna ger ett större flöde av dagvatten, vilket i sin tur kan leda till översvämningar och att vattentäkter förorenas. I denna litteraturstudie redogörs för Göteborgs problem med dagvatten och olika aspekter av dagvattenhantering kommer att tas upp.

## 2.1 Avloppshantering i Göteborg

Göteborg var den första staden i Sverige att bygga ett avloppssystem år 1866 (Förvaltningen Kretslopp och Vatten, 2016). Den främsta uppgiften var då att separera det förorenade vattnet från diskning och tvättning ifrån stadens dricksvatten. År 1917 godkändes även att avloppsvatten från vattenklosetter skulle ledas in i avloppssystemet. Fram till mitten av 1950-talet byggdes avloppsnätet endast som ett kombinerat system, med dagvatten och spillvatten i samma ledningar. Efter det har duplikatsystem använts vid om- och tillbyggnad av staden.

Idag är ungefär en fjärdedel av Göteborgs avloppsledningsnät ett kombinerat system och resterande är duplikat. Det kombinerade systemet finns främst i de äldre delarna av staden. Dagvattnet från det duplikata systemet leds oftast direkt ut i recipienten, dock behöver dagvatten från vissa delar av staden genomgå någon form av rening (Göteborg Vatten, Kretsloppskontoret & Gryaab, 2007). Vattnet i det kombinerade systemet leds, tillsammans med spillvattnet från det duplikata systemet, till Göteborgs reningsverk Ryaverket. Där renas det för att sedan släppas ut i kustvattnet utanför Göteborg, vid Göta älvs utlopp.

Ryaverket togs i bruk 1972, och ägs och drivs av det kommunala aktiebolaget Gryaab AB. I december 2015 var 737 162 personer, eller 806 575 personekvivalenter, anslutna till reningsverket (Gryaab, 2016). Av denna vattentillrinning kommer 79 % från Göteborgs kommun medan det resterande vattnet ansluts från delar av de angränsande kommunerna Ale, Härryda, Kungälv, Mölndal, Partille, Lerum och Tjörn.

## 2.2 Problem orsakade av dagvatten i Göteborg

I de kombinerade systemen, där både spill- och dagvatten leds i samma ledning, uppstår det problem vid stora regnmängder eftersom flödet då ofta är större än vad ledningarna klarar av. Vattnet som inte kan ledas vidare i ledningarna behöver då ta vägen någon annanstans för att undvika översvämningar i samhället. Enligt Emelie Alenius, projektledare på Kretslopp och Vatten, (personlig kommunikation, 2016-02-15) sker dessa översvämningar i den lägsta utloppspunkten i systemet, vilket i kombinerade system oftast ligger i någons källare. För att undvika översvämningar och skador på samhället installeras bräddbrunnar, vars funktion är att vid höga flöden släppa ut spill- och dagvattnet i naturen genom bräddningar. Detta är en nödvändig men inte optimal installation för att avlasta både ledningar och bassänger i reningsverken (Naturvårdsverket & Svenskt Vatten, 2013). Mängden vatten som bräddas varierar från år till år beroende på nederbörd, som en indikator släpptes det ut ungefär 19 ton kväve och 3 ton fosfor i naturen från Göteborgs avloppsledningssystem, under 2014 (Göteborgs Stad, 2016c).

Källaröversvämningar har även ekonomiska konsekvenser i form av att Kretslopp och Vatten kan bli ersättningsskyldiga om ledningsnätet inte är korrekt dimensionerat utifrån branschkraven. Dessa krav har ändrats över tid och i dagsläget ställs högre krav på säkerheten mot källaröversvämningar än vad det gjordes förr (personlig kommunikation Annika Wenzel, skadereglerare på Kretslopp och Vatten, 2016-04-19). Detta innebär att ledningar som dimensionerades korrekt när de anlades inte alltid uppfyller dagens krav, vilket bland annat beror på att bebyggelsen i området förändrats. Enligt Wenzel är rättspraxis att domstolarna vanligen följer branschnormen och är det inte visat att Kretslopp och Vatten uppfyller denna kan de bli ersättningsskyldiga gentemot fastighetsägarna. Den genomsnittliga ersättningen för en källaröversvämning i en villa är ungefär 100 000 kr.

Ryaverket har i dagsläget kapacitet att rena i princip allt inkommande vatten då flödet är lägre än 12 $m^3/s$ (Gryaab, 2016), även om kapaciteten kan variera något från dag till dag. Under ett normalår varierar det genomsnittliga flödet enligt tabell 2.1 (personlig kommunikation Emelie Alenius, 2016-02-15).

*Tabell 2.1. Variationen på inflödet till Ryaverket per dag under ett normalår.*

| **Inflöde [$m^3/s$]** | **Antal dagar per år** |
|---|---|
| 2-4 | ~ 250 |
| 4-7 | ~ 75 |
| 7-10 | ~ 20 |
| Över 10 | ~ 20 |

I framtiden förväntas dock reningskraven bli högre enligt Alenius (personlig kommunikation, 2016-02-15), vilket betyder att Ryaverket inte kommer kunna hantera flödestopparna, med ett inflöde på 12 $m^3/s$, under så många dagar om året som det gör idag. Dessutom ökar befolkningen i Göteborg hela tiden vilket kommer leda till ännu större inflöden till Ryaverket.

Detta innebär att om reningsverket ska förväntas rena flödestoppar på över 7 $m^3/s$ i framtiden, med full rening och hårdare krav, kommer det inte vara möjligt på befintlig anläggning utan då krävs istället byggnation av ett nytt reningsverk (personlig kommunikation Emelie Alenius, 2016-02-15). Varken reningsverket eller avloppsledningsnätet ska dimensioneras för extremflöden (Gryaab, 2016), vilket innebär att vattenflöden över 10 $m^3/s$ behöver ledas bort från systemet genom så kallad förbiledning. Efter försedimentering leds således det vattnet istället till utloppstunneln i Göta älv. Det är följaktligen flöden mellan 7-10 $m^3/s$ som är de mest kritiska tidpunkterna ur ett ekonomiskt perspektiv, då flöden under 7 $m^3/s$ inte nämnvärt påverkas av de hårdare reningskraven.

## 2.3 Regnvattentunnor och andra dagvattenhanteringslösningar

Att använda regnvattentunnor för att ta hand om dagvatten är en metod som inte är speciellt beprövad, även om metoden kan anses vara simpel jämfört med många andra. Det finns dock några studier gjorda på användning av regnvattentunnor, framförallt i USA och Kanada, se kapitel 2.3.1. Tunnorna kan användas av flera anledningar; för att ta hand om regnvattnet i syfte att använda det vid bevattning, ta hand om föroreningar eller, som aktuellt i denna studie, att ta hand om dagvattnet för att minska belastningen på avloppsledningssystemet och på reningsverket.

### 2.3.1 Tidigare studier av regnvattentunnor

De senaste åren har det gjorts ett fåtal studier angående regnvattentunnor, främst i Nordamerika. I Kanada publicerades 2011 en pilotstudie *The Wingham rain barrel study* 2011, där regnvattentunnor på 200 liter placerades ut i ett mindre område (Insurance Bureau of Canada, 2011). Studien gjordes i ett litet samhälle med ungefär 3000 invånare och där omkring 500 tunnor installerades. Marken i området består till stor del av isälvsavlagringar bestående av sand och grus, vilket har en god infiltrationsgrad och gör att vattnet enkelt kan rinna ner i marken. Regnvattentunnorna hade i projektet inget uttappningshål utan var tänkta att tömmas manuellt. Det innebar att regnvattentunnorna stod överfulla under längre perioder och inte fungerade som tänkt. Om tunnorna skulle kunna användas under hela året skulle någon form av självdränering behöva installeras. Efter studien rekommenderades därför att i kommande projekt rörande regnvattentunnor skulle tunnorna förses med ett uttappningshål på 1 mm i diameter i nedre kant. Pilotstudien resulterade i att helårsflödet i samhället reducerades med 26 %, där minskningen i flöde främst skedde vid små och medelstora regn. Enligt Insurance Bureau of Canada (2011), berodde detta förmodligen på att tunnan svämmar över vid kraftiga regn samt att jorden blir vattenmättad, vilket leder till att vattnet inte längre kan infiltreras i marken. Det i sin tur leder till att vattnet istället rinner ner till en brunn, ett dräneringsrör eller liknande.

I Ohio, USA, gjordes 2013 en studie på regnvattentunnor; *Rain Barrel – Urban Garden Stormwater Management Performance*. Marken i Ohio består till största del av olika leror och moräner med dålig dräneringsförmåga, vilket innebär att vattnet i låg utsträckning kan infiltreras i marken. För att minska miljöproblemen kopplade till bräddningar av dagvatten i området, analyserades därför om implementering av regnvattentunnor kunde vara en lösning. Regnvattentunnornas syfte var, förutom att leda bort vatten från ledningssystemet, att även användas som bevattningsmetod i trädgårdar, då husägarna själva tappade ut vatten från tunnorna (Jennings, Adeel, Hopkins, Litofsky & Wellstead, 2013). I studien kopplades tunnorna dock bort under den period på året där det fanns risk för frost, vilket innebar att de endast användes under sommarhalvåret. Resultatet av studien visade att införandet av regnvattentunnor gav en reducering av regnvattenflöden till avloppsledningssystemet på mellan 3 % och 5 % per år.

Året efter utfördes en uppföljande studie i USA; *Evaluating Rain Barrel Storm Water Management - Effectiveness across Climatography Zones of the United States*. Denna undersökning baserades till stor del på data från den tidigare nämnda studien i Ohio, men var en vidareutveckling av den och studerade istället nyttan av regnvattentunnor på 70 olika platser runt om i USA. Studien visade att effektiviteten av tunnorna, med hänsyn till mängden dagvatten som leds till ledningsnätet, varierade stort runt om i landet; från 3 % till 40 % (Litofsky & Jennings, 2014). Således konstaterades att den geografiska platsen, med olika väder- och markförutsättningar, var av stor betydelse för hur effektiva regnvattentunnorna var. I områden i USA där det råder brist på vatten kunde tunnorna ta tillvara på dagvattnet och på så sätt reducera avrinningen maximalt. Marken på dessa platser kan generellt beskrivas som löst kompakterade jordarter, med varierande mängd grus, sand och silt (The Arizona Geological Survey, 2015), vilket visas i figur A.1 och A.2 i bilaga A. Vilket alltså innebär att det var på de torraste platserna och de med bäst infiltrationsmöjligheter, där tunnorna var mest effektiva i USA.

### 2.3.2 Andra lösningar på dagvattenhantering

Den mest drastiska lösningen för att minska problem orsakade av dagvatten är att bygga om det kombinerade systemet till ett duplikatsystem. Detta är dock ett mycket omfattande arbete.

Enligt Alenius på Kretslopp och Vatten (personlig kommunikation, 2016-02-15) skulle en ombyggnation av alla kombinerade ledningar i Göteborg ta 75 till 100 år och uppskattningsvis kosta ungefär 10 miljarder kronor. Det finns dock andra alternativ för hur dagvatten kan hanteras, bland annat regnträdgårdar som ligger på marknivå och fördröjningsmagasin som ligger under mark. Både regnträdgårdar och fördröjningsmagasin är dagvattenlösningar utformade för att ta tillvara på dagvatten som rinner av från ogenomträngliga ytor; såsom vägar, parkeringar och tak.

Regnträdgårdar är vanligtvis nedsänkta från marknivån för att på så sätt kunna ta tillvara på så mycket dagvatten som möjligt (Philadelphia Water, 2016). Det uppfångade vattnet infiltrerar långsamt ner genom det konstgjorda jordlagret till underliggande dräneringsledningar och vidare till avloppssystemet (Göteborgs Stad, 2016a). På så sätt sker det en fördröjning av dagvattnet innan det kommer till avloppsledningarna, ett så kallat lokalt omhändertagande av dagvatten. Samtidigt tar växtligheten i regnträdgårdarna upp föroreningar från vattnet så att det renas.

Fördröjningsmagasin i kombinerade ledningar kallas för rörmagasin. Dessa kan antingen vara utformade så att dagvattnet bevaras tills det att röret nästan är fullt, varpå vattnet rinner ut i ett utlopp till avloppsledningarna (Ramböll, 2014a). Eller kan rörmagasinen vara gjorda av ett material så att dagvattnet infiltreras ut genom väggarna ner i marken (Uponor, 2016). Oavsett utformning på rörmagasin sker det en fördröjning av dagvatten som på så vis minskar risken för översvämningar. Dessutom renas dagvattnet till viss del från föroreningar då partiklarna sedimenterar i magasinen. Investeringskostnaderna för dessa lösningar för dagvattenhantering visas i tabell 2.2 nedan (Göteborgs Stad, 2016d).

*Tabell 2.2. Investeringskostnader för tre dagvattenhanteringslösningar som används i Göteborg.*

| Typ av anläggning | Investeringskostnad |
|---|---|
| Separering av kombinerade ledningar | ~ 25000 kr/m |
| Rörmagasin | 4000 - 4500 kr/m$^3$ |
| Regnträdgård | 2500 - 4000 kr/m$^2$ |

Förutom investeringskostnaderna tillkommer även kostnader för drift och underhåll för anläggningarna, dock varierar dessa beroende på de lokala förutsättningarna och vilken typ av anläggning som byggs. För dagvattenanläggningar ovan mark, det vill säga regnträdgårdar, ligger denna årliga kostnad på ca 5-15 % av investeringskostnaderna (Göteborgs Stad, 2016d). Den årliga drift- och underhållskostnaden för rörmagasin är däremot svårare att beräkna. Det beror på att kostnaderna bestäms av storleken och utformningen av magasinet samt vilka föroreningar som ska oskadliggöras. Generellt kan dock ett rörmagasin på 70 m$^3$ beräknas kosta ungefär 10 000 kr per rengöringstillfälle (Göteborgs Stad, 2016d).

Enligt Alenius (personlig kommunikation, 2016-02-15) är anläggningar för dagvattenhantering som mest lönsamma om de fungerar i 50-60 år. Dock varierar den tekniska livslängden på dagvattenlösningar. Rörmagasin kan, med kontinuerliga inspektioner och underhåll, vara verksamma upp mot 100 år (Göteborgs Stad, 2016d) medan regnträdgårdar är effektiva 20-25 år innan materialet blir mättat på föroreningar (personlig kommunikation Jenny Lindh, projektingenjör på Kretslopp och Vatten, 2016-04-12).

## 2.4 Lokalt omhändertagande av dagvatten och faktorer som påverkar det

För att få en hållbar dagvattenhantering bör dagvattnet tas om hand så tidigt i systemet som möjligt, vilket innebär att ett lokalt omhändertagande på privat mark vore det bästa

alternativet (personlig kommunikation Emelie Alenius, 2016-02-15). Göteborgs Stad försöker i dagsläget att få tillstånd att ställa krav på att fastighetsägare ska fördröja en viss mängd dagvatten innan det går ut i ledningarna, för att på så sätt minska flödet till Ryaverket. Det finns dock ett antal faktorer som påverkar hur väl lokalt omhändertagande av dagvatten fungerar, vilka presenteras i följande kapitel.

### 2.4.1 Infiltration

Hur väl vatten infiltrerar i marken beror på många olika faktorer; såsom jordens partikelstorlek, markens lutning, förekomsten av organiskt material samt aktiviteten hos växter, djur och människor (Butler & Davies, 2011). Detta gör att det är svårt att bestämma exakt vilken infiltrationsgrad en jordtyp har. Generellt kan dock infiltrationen sägas vara sämre ju finkornigare en jordtyp är. Marken i Göteborg består till stor del av lera, vilket är en finkornig jordart, och urberg, se jordartskarta A.3 i bilaga A. Butler och Davies (2011) nämner även att jorden inte är lämplig för infiltration då infiltrationsgraden understiger 0,001 mm/h. Lera har en ungefärlig infiltrationsgrad på mindre än 0,0001 mm/h, vilket gör lera olämpligt att infiltrera i. Således är det den tunna jordskorpan ovanför leran, bestående av cirka 0,5 m matjord (Persson, Karlsson, Jansson & Gustavsson, 2015), som infiltrerar stora delar av vattnet i Göteborg.

### 2.4.2 Hårdgjord yta

I tätbebyggda städer som Göteborg finns mycket hårdgjorda ytor; bland annat asfalterade vägar, parkeringsplatser och hustak (Göteborgs Stad 2016a). Då det regnar på dessa ytor flödar en stor del av det dagvattnet direkt ner till avloppssystemet, vilket innebär att det finns ett direkt samband mellan hur stor andel hårdgjord yta det finns i en stad och hur stor andel dagvatten som påverkar ledningsnätet (Butler & Davies, 2011). I områden med högre infiltrationsmöjligheter kan istället vattnet antingen avdunsta helt, temporärt fördröjas genom vattenmagasinering eller infiltreras ner i marken.

## 2.5 Framtida väderförändringar i Sverige

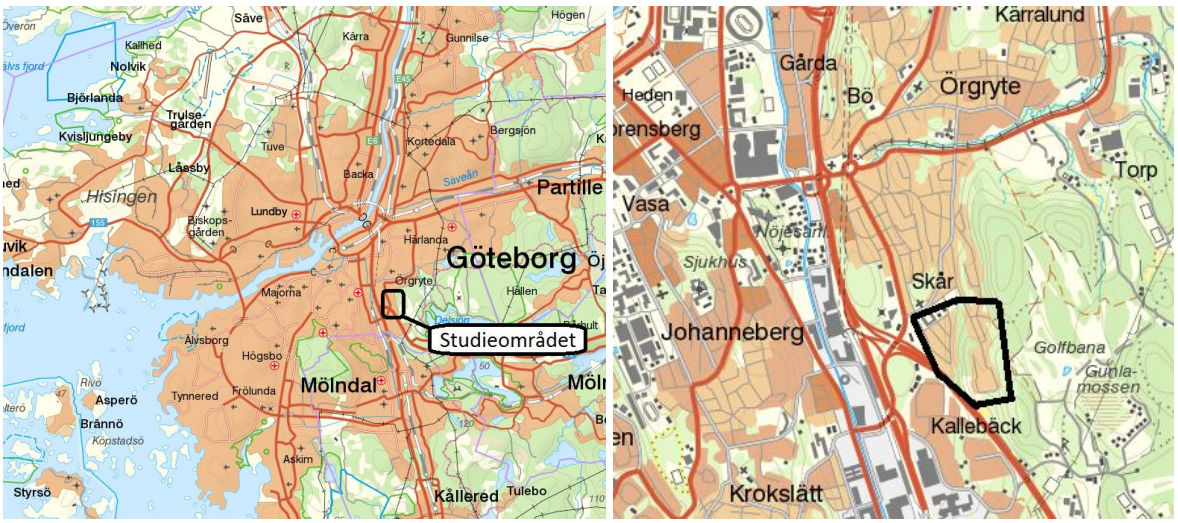
De pågående klimatförändringarna förväntas i Sverige leda till mer intensiva och momentana skyfall i framtiden (Olsson & Foster, 2013). Detta beror på att en varmare atmosfär kan hålla mer vattenånga, vilket på så sätt ger förutsättningar för kraftigare nederbörd. Klimatmodeller i Olssons och Fosters studie (2013) visar att ett skyfall kommer vara 20-30 % kraftigare i Sverige år 2100 jämfört med idag. Detta innebär att skyfall där det regnar 25 mm under en timme kommer vara lika vanliga vid sekelskiftet som skyfall med 20 mm är idag. Intensiteten för de så kallade 10-årsregnen tros även vara 10 % kraftigare år 2050 (SMHI, 2014). Prognoserna (Olsson & Foster, 2013) visar även att det är i de västra delarna av Sverige som ökningen av kraftiga regn kommer vara som störst. Framförallt gäller det de regn som varar i 30 minuter, där ökningen lokalt i västra Sverige kan vara uppemot 30 % om 25 - 55 år. Denna ökning av korttidsnederbörd kan ge negativa konsekvenser på den urbana hydrologin, då andelen hårdgjord yta kommer att försvåra vattnets avrinning (Butler & Davies, 2011). Det kan bland annat leda till översvämningar och att förorenat vatten leds ut direkt till recipienten.

I större tätbyggda städer, med stor andel hårdgjord yta och en ständigt ökande befolkning, finns det risk att de nuvarande avloppsystemen inte kommer klara av de ökade regnmängderna. Detta är något som SMHI, tillsammans med Stockholm Vatten och Stiftelsen för Miljöstrategisk Forskning, Mistra (Olsson, Dahné, German, Westergren, von Scherling, Kjellson, Ohls, & Olsson, 2010), lyfter fram i en studie är det undersöks hur sårbart Stockholms avloppsystem är för klimatförändringar och för en ökande population. Studien visar att redan år 2050 kommer avloppsystemet i Stockholm ha problem. Bland annat tros den

bräddade vattenvolymen öka med cirka 20 % på grund av större regnmängder och med cirka 5 % för en befolkningsökning på 25 %. Dessutom visar studien att nederbörden i Sverige troligtvis kommer få en annorlunda årsrytm i framtiden, med en procentuell mindre regnökning på sommarhalvåret och en större procentuell regnökning på vintern.

# 3 Metod

För att kunna utreda i vilken utsträckning regnvattentunnor skulle kunna avlasta avloppsledningssystemet i Göteborg användes ett mindre område av stadsdelen Örgryte som studieområde, se figur 3.1. De resultat som erhölls från detta område användes sedan för att göra beräkningarna för fler områden i Göteborg, vilket förklaras mer utförligt i kapitel 3.3. Studieområdet är ett äldre område vars avloppsledningsnät är ett kombinerat system och där ett bräddavlopp finns längst ner i systemet (personlig kommunikation Emelie Alenius, 2016-02-15). Området består till största delen av villor men även av ett fåtal radhus, sammantaget ungefär 150 stycken hus (Göteborg Energi, 2016). De geologiska förhållandena är främst urberg och lera, men även lite postglacial finsand (Sveriges geologiska undersökning, 2016), se jordartskarta i figur A.4 i bilaga A.

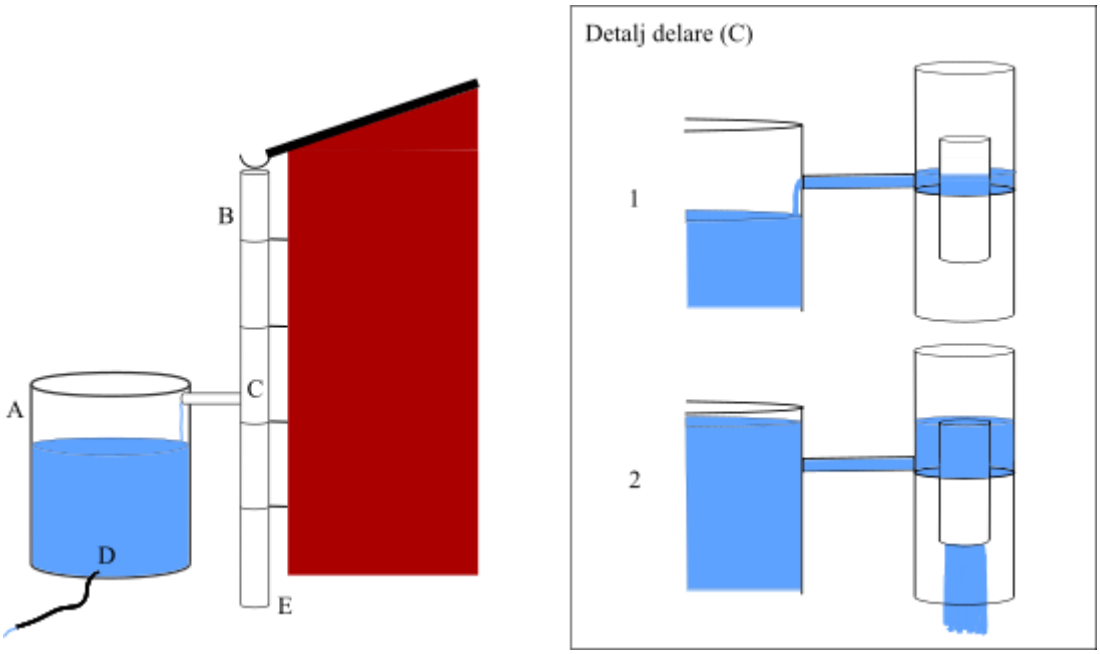



*Figur 3.1 Bilden till vänster är en översiktlig karta över Göteborg och bilden till höger är en mer detaljerad karta över Örgryte. (Lantmäteriet, 2016). CC-BY.*

Området har valts som studieområde eftersom det antas lämpa sig väl för implementering av regnvattentunnor. Detta beror på att området har ett kombinerat system och husen har trädgårdar där infiltration av regnvattnet skulle vara möjlig. Enligt modellspecialist Håkan Strandner på Kretslopp och Vatten (personlig kommunikation, 2016-03-01) är det även ett område som utsatts för flera översvämningar de senaste åren.

## 3.1 Utveckling av regnvattentunna

Utformningen av regnvattentunnan bestämdes utifrån de tidigare studiernas utformning av regnvattentunnor (Insurance Bureau of Canada, 2011), samt genom ett ingenjörsmässigt tankesätt. Regnvattentunnorna (**A**) är tänkta att placeras invid varje stuprör (**B**) på husen i studieområdet, se figur 3.2. Stupröret kopplas ifrån dagvattenledningen genom att en delare (**C**), som leder regnvattnet ned i regnvattentunnan, installeras. För att en tunna inte ska stå full, och på så sätt vara overksam vid nästkommande regn, har tunnans nedre del försetts med ett uttappningshål och en fästanordning till en 2,5 meter lång slang med diametern 13 millimeter (**D**) där vattnet leds ut till gräsmattan, en så kallad uttappningsslang. Syftet med uttappningsslangen är att leda bort vattnet en bit från huset för att på så sätt undvika fuktskador på husgrunden (Svenskt Vatten, 2011). Tunnan kommer således med hjälp av gravitationen kontinuerligt att tömmas på vatten, dock finns det ändå en risk att tunnan blir helt full vid extremt kraftiga regn. Vid de tillfällena svämmar delaren över och vattnet leds direkt ner till ledningsnätet via stupröret istället (**E**).




*Figur 3.2. Konceptuell skiss över regnvattentunnan och delarens funktion: regnvattnet rinner från taket, genom stupröret, till delaren där vattnet antingen rinner ner i tunnan (**1**) eller fortsätter ner till det kombinerade systemet om tunnan är full (**2**).*

Syftet med tunnorna är att allt regn som faller på taket tas om hand lokalt med hjälp av tunnorna, istället för att skickas vidare ner i ledningssystem för att till slut nå ett avloppsreningsverk. Detta gör att dagvattenflödet minskar i ledningen samtidigt som det eventuellt kan ge en minskad belastning på avloppssystemet (Insurance Bureau of Canada, 2011). Det är dock troligt att en del av vattnet som rinner ut ur tunnan ändå kommer att ledas tillbaka till systemet. Detta beror främst på vattnets infiltrationsbegränsningar, vilket är en följd av de lokala markförhållandena, samt på den stora andelen hårdgjord yta i tätbebyggda områden (Göteborg Vatten, Kretsloppskontoret & Gryaab, 2007).

### 3.1.1 Beräkningsgång av dagvattnets flödesvariationer i en tunna

För att kunna analysera en regnvattentunnas kapacitet och effektivitet beräknades flödesvariationerna i tunnan utifrån in- och utflöden i beräkningsprogrammet MATLAB[1]. Beräkningarna av hur inflödet av dagvatten från det anslutande taket varierar över ett år, har gjorts med hjälp av rationella metoden i ekvation 1.

$$Q_{in} = i \cdot \varphi \cdot A \qquad (1)$$

där

| | |
|---|---|
| $Q_{in}$ | Inflödet till tunnan [m$^3$/s] |
| $i$ | Regnintensiteten för år 2014 [m/s] |
| $\varphi$ | Avrinningskoefficienten för tak [-] |
| $A$ | Takytan [m$^2$] |

Ovanstående ekvation tar hänsyn till hur stor regnintensiteten är, hur stor del av dagvattnet som rinner från taket samt hur stor takyta huset har. En regnserie skapades således utifrån SMHI:s mätningar på regnintensiteten för år 2014 (SMHI Öppna data, 2016a). Värdena för regnintensiteten angavs i millimeter per 15-minutersperiod och har antagits vara konstant under den tiden, för att på så sätt framställa regnet som ett blockregn. Avrinningskoefficienten

[1] För mer information om programmet: http://se.mathworks.com/products/matlab/

är ett uttryck för hur stor del av avrinningsområdet som kan bidra till avrinningen, vilket för tak har ett standardvärde på 0,9 (Svenskt Vatten, 2011).

Takytan är satt som ett medelvärde av takarean per stuprör för villorna i studieområdet. Arean per hustak togs fram genom Göteborg Energis tjänst *Solkartan* (Göteborg Energi, 2016), i vilken mått på takareor beräknas utifrån satellitbilder. Utöver det har antalet stuprör per hus tagits fram genom iakttagelser med hjälp av Googles tjänst *Google Maps Street View* (Google, 2016a). Utifrån dessa uppgifter har således en takmedelarea per stuprör fåtts fram, vilket är den area som används i rationella metoden.

För att beräkna storleken på tunnans utflöde har energiekvationen för rörströmning använts, se ekvation 6 i bilaga B. Vattennivån i tunnan varierar med tiden och med en algebraisk omskrivning av energiekvationen kan ett samband för utflödet skrivas som ekvation 2 nedan.

$$Q_{ut} = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{\left(1 + k_u + \frac{f \cdot L}{D} + (k_i + k_r) \cdot \left(\frac{A_{slang}}{A_{hål}}\right)^2\right)}} \cdot A_{slang} \qquad (2)$$

där

| | |
|---|---|
| $Q_{ut}$ | Utflödet från tunnan [m$^3$/s] |
| $H$ | Vattennivån i tunnan [m] |
| $g$ | Gravitationskoefficienten [m/s$^2$] |
| $k_i$ | Faktor för inströmningsförlusten [-] |
| $k_u$ | Faktor för utströmningsförlusten [-] |
| $k_r$ | Faktor för retardationsförlust [-] |
| $f$ | Friktionskoefficient enligt Moodys diagram [-] |
| $L$ | Uttappningsslangens längd [m] |
| $D$ | Diameter på slang [m] |
| $A_{slang}$ | Tvärsnittsarea för uttappningsslang [m$^2$] |
| $A_{hål}$ | Tvärsnittsarea för uttappningshål [m$^2$] |

För att beräkna utflödet ur tunnan har förenklingar behövt utföras. Eftersom det är svårt att veta hur slangen kommer att ligga på marken har den antagits ligga fullständigt rak. Detta antagande leder till att krökningsförluster som uppkommer i eventuellt krökta delar av slangen försummas. Friktionsförlusterna i slangen har beräknats utifrån Moodys diagram, som beskriver hur friktionsfaktorn varierar med Reynolds tal och relativ råhet. Genom att anta hydrauliskt rå strömning i uttappningsslangen blir friktionskoefficienten enbart beroende av relativ råhet, som i sin tur beror på slangens material och diameter (Häggström, 2009).

När det sker en kraftig ökning av ett rörs tvärsnittsarea uppstår ökad virvelbildning och därmed minskar vattnets hastighet (Häggström, 2009). Denna hastighetsminskning leder till så kallade retardationsförluster, vilket kommer ske mellan tunnans uttappningshål och uttappningsslang. Faktorn $k_r$ tar hänsyn till denna förlust och har tagits fram utifrån kvoten av tvärsnittsareorna på uttappningshålet och -slangen enligt Häggström (2009). Virvelbildning uppstår även när vattnet i tunnan strömmar in i uttappningshålet eftersom vattnet leds mot hålet med varierad hastighet och riktning (Häggström, 2009), vilket faktorn $k_i$ tar hänsyn till. När vattnet strömmar ut ur uttappningsslangen uppstår även då förluster, som tas hänsyn till med faktorn $k_u$.

Med in- och utflödet beräknade har den resulterande vattennivån i tunnan plottats i MATLAB för att simulera hur en tunna fylls, töms och i vilken omfattning den svämmar över, under regnåret 2014. Den utformade MATLAB-koden kan ses i bilaga C.1. Sambandet mellan in- och utflödet ger även hur vattenvolymen förändras i tunnorna under året.

Vid beräkningarna har vattennivån i tunnan inte tillåtits att överstiga regnvattentunnans höjd. Då vattennivån passerar denna gräns korrigeras den till att maximalt vara lika med tunnans höjd, tills dess att vattennivån sänks. Den mängd vatten som överskridit tunnans höjd summeras för att kunna analysera tunnans effekt.

### 3.1.2 Val av den optimala regnvattentunnan för studieområdet

Beräkningen på regnvattentunnorna har, som tidigare nämnts, utförts i beräkningsprogrammet MATLAB. Detta för att kunna ha möjligheten att ändra dimensioner och indata för varje enskild undersökt regnvattentunna, hädanefter kallad typtunna, för att på så sätt kontrollera i vilken utsträckning de olika typtunnorna kan tillvarata vatten.

Processen att bestämma dimensionerna på de olika typtunnorna utgick från dimensionerna av regnvattentunna som användes i den kanadensiska rapporten *The Wingham rain barell study*. I den studien var tunnans volym 200 liter och det föreslogs ett uttappningshål på 1 millimeter i diameter. Dimensionerna på typtunnorna bestämdes således utifrån den studien och en undersökning av tillgängliga regnvattentunnor på marknaden. Även storleken på uttappningshål har valts med hänsyn till den kanadensiska rapporten och därmed har 1, 3 och 5 millimeter i diameter använts i beräkningarna. Att diametern inte valts till större än 5 millimeter beror på att flödena ut ur tunnan då antas bli så pass stora att tunnan kommer stå tom under långa perioder och därmed vara ineffektiv. Dessutom antas det finnas en risk att marken inte kan infiltrera allt vatten som rinner ut på marken om flödena är för stora.

En undersökning av marknaden visade att de vanligast förekommande regnvattentunnorna har kapaciteten 200, 300 eller 400 liter. Då de exakta dimensionerna varierat mellan tillverkare har ett medelmått för 200 liters tunnan antagits till 53 centimeter i diameter och 95 centimeter i höjd. Utifrån dessa mått har dimensionerna för 300 och 400 liters tunnorna bestämts med hänsyn till att både öka höjden och diametern på dem. Tunnorna har även antagits vara cylindriska. Samtliga typtunnor redovisas i tabell 3.1 nedan.

*Tabell 3.1. Skillnaden på volym, höjd och diameter på typtunnorna samt vilken diameter uttappningshålet har.*

| | Volym [l] | Höjd [m] | Diameter [m] | Diameter uttappningshål [mm] |
|---|---|---|---|---|
| **Typtunna 1** | 200 | 0,95 | 0,53 | 1 |
| **Typtunna 2** | 200 | 0,95 | 0,53 | 3 |
| **Typtunna 3** | 200 | 0,95 | 0,53 | 5 |
| **Typtunna 4** | 300 | 1,0 | 0,62 | 1 |
| **Typtunna 5** | 300 | 1,0 | 0,62 | 3 |
| **Typtunna 6** | 300 | 1,0 | 0,62 | 5 |
| **Typtunna 7** | 400 | 1,35 | 0,62 | 1 |
| **Typtunna 8** | 400 | 1,35 | 0,62 | 3 |
| **Typtunna 9** | 400 | 1,35 | 0,62 | 5 |

Efter att dimensionerna på typtunnorna bestämts jämfördes hur stor andel av dagvattnet från

hustaken som typtunnorna kunde tillvarata. Utförlig beskrivning av beräkningarna kan, som tidigare nämnt, ses i bilaga C.1. Utifrån detta har den regnvattentunna som kan tillvarata störst andel dagvatten urskilts och därefter valts som regnvattentunna för studieområdet. Dessutom beräknades det maximala flödet ut från tunnan, då detta värde används vid flödesmodelleringen.

## 3.2 Modellering av regnvattentunnor med hänsyn till översvämningar och bräddningar i studieområdet

För att analysera regnvattentunnornas förmåga att minska bräddningar och översvämningar användes studieområdet i Örgryte. Beräkningarna på hur mycket flödet förändras i ledningsnätet gjordes med hjälp av simuleringar i modelleringsprogrammet MIKE URBAN[2], hädanefter benämnt MU. Det är ett program framtaget av företaget DHI, Danish Hydraulic Institute och används för modellering av vatten- och avloppsledningsnät i urbana miljöer. DHI är ett konsultföretag som specialiserat sig på tjänster inom vatten och miljö. MU valdes då det redan fanns en tillgänglig modell över studieområdet, skapad och kalibrerad av Kretslopp och Vatten, Modifieringar på modellen behövde dock utföras för att modellen skulle uppfylla rapportens mål, dessa modifieringar beskrivs senare i kapitlet.

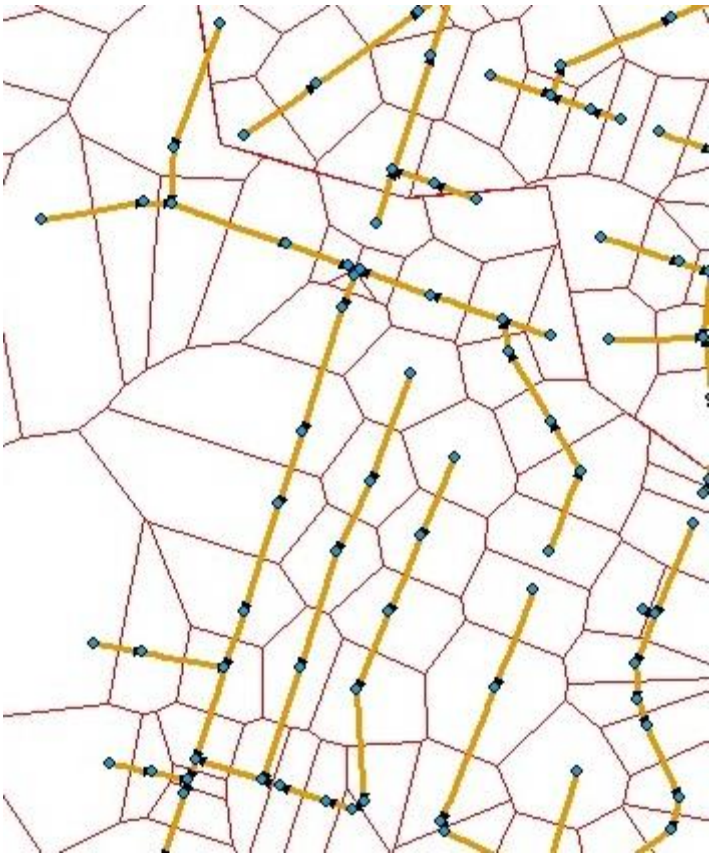
### 3.2.1 Modelleringsprogrammet MIKE URBAN

MU är ett multifunktionellt modelleringsprogram som kan användas för riskanalyser, kostnadsuppskattningar och simulering av framtida regnscenarion (DHI, 2016b). Dessutom kan MU utföra simuleringar på flera typer av urbana hydrologiska fenomen, såsom avlopps- och dagvattenhantering. Simuleringar i MU utförs oftast i två steg. Det första steget är att göra en avrinningssimulering över hur dagvatten flödar i en modells avrinningsområden och utifrån denna avrinningssimulering utförs en nätverkssimulering över flödet i ledningsnätet. Nätverkssimuleringen visar följaktligen hur ledningsnätet belastas inom valt tidsintervall.

För att kunna utföra hydrologiska modelleringar i MU krävs indata i form av regnserier, spillvattenflöden eller dylikt. Dessutom behöver modellens avrinningsområden specificeras med hänsyn till dess storlek, position i modellen, infiltrationskapacitet, andel hårdgjord yta och lutningen på området. Regnserier kan sedan tillägnas avrinningsområden för att på så sätt simulera avrinning av dagvatten på ytan (DHI, 2016c).

Genom att placera ut nodpunkter och dra ledningar mellan nodpunkterna, se figur 3.3, kan användaren skapa ledningsnät för dag-, spill- och avloppsvatten (DHI, 2016c). Dessa nodpunkter kan tilldelas egenskaper, såsom brunnar, bräddpunkter eller utlopp, för att modellera hur nätverket ser ut. Nodpunkterna kan kopplas till avrinningsområden som ritats ut eller importerats in till MU från ett geografiskt informationssystem.

[2] För mer information om programmet: http://www.mikepoweredbydhi.com/-/media/shared%20content/mike%20by%20dhi/flyers%20and%20pdf/software%20flyers/cities/mbd_catextract_mikeurban_uk.pdf



*Figur 3.3. Del av en MIKE URBAN-modell; där de blåa punkterna är nodpunkter, de gula sträcken ledningar och de olika rutorna symboliserar avrinningsområden.*

Efter en simulering i MU kan resultat presenteras i tabellform, grafer eller kartor för flera hydrologiska fenomen i nodpunkter och ledningsnät (DHI, 2016b). Några hydrologiska fenomen som kan vara av intresse är till exempel vattennivå, vattenhastighet, tryckhöjd eller max- och minflöden.

### 3.2.2 Simuleringar för år 2014

Modelleringen har utgått från en färdig modell över en större del av Örgryte, framtagen av Kretslopp och Vatten. Då studieområdet, som nämnt i inledningen av kapitel 3, endast är en liten del av modellen har regnvattentunnorna enbart placerats ut där. Vattenflödet i resterande del av modellen påverkar dock vattenflödet i studieområdet och för att inkludera denna påverkan har simulationerna således utförts på hela modellen.

Vid införandet av regnvattentunnor användes MU:s funktion *Low Impact Development*, hädanefter benämnt LID. Detta är en funktion som tillhandahåller lösningar för lokalt omhändertagande av dagvatten såsom regnträdgårdar, infiltrationsdiken och regnvattentunnor (DHI, 2016a). Parametrarna som kan ändras i den använda LID-funktionen *Rain barrel* är storlek på takytan, dimensioner på tunnan, placering av uttappningsröret, vattenflödet ut från uttappningsslangen samt hur lång tid det tar innan vattnet börjar rinna ut ur uttappningshålet. I *Rain barrel*-funktionen leds både det dagvattnet som passerar ut genom uttappningshålet och det som svämmar över från regnvattentunnan tillbaka till avrinningsområdet, där det antingen infiltreras eller leds ner i ledningssystemet genom gatubrunnar.

Som nämndes i kapitel 3.2.1 är simuleringarna i MU oftast uppbyggda i två steg; inledningsvis görs avrinningssimuleringar och därefter utförs nätverkssimuleringar utifrån resultatet av avrinningssimuleringarna. Modellen från Kretslopp och Vatten var uppbyggd för

att göra avrinningssimuleringar enligt tid-area metoden, men för att LID-funktionen *Rain barrel* ska fungera krävs en modell som använder de kinematiska vågekvationerna. Följaktligen behövde modellen bearbetas för att regnvattentunnornas påverkan skulle kunna utvärderas. I MU innebär avrinningsmodellering med de kinematiska vågekvationerna att avrinningsområdet ses som en öppen kanal där endast gravitations- och friktionskrafter påverkar (DHI, 2016d). Kanalen har en prismatisk form med rektangulära tvärsnitt där den valda konceptuella längden och avrinningsområdets area avgör kanalens bredd. Den totala avrinningsvolymen är beroende av hydrologiska processer som uppfuktning, infiltration och ytlagring, dock exkluderas avdunstningen (DHI, 2016d). Hydrografens form påverkas däremot av avrinningsområdesparametrar som lutningen i området, den konceptuella längden och ytans råhet. Dessa parameter blir sedan basen för kinematiska vågberäkningen med Mannings ekvation.

Efter bearbetningen av modellen från tid-area metoden till den kinematiska vågmetoden analyserades två kontrollparametrar för varje avrinningsområde för att säkerhetsställa bearbetningens kvalitet. De två parametrarna som kontrollerades var den totala volymen avrunnet vatten samt maxflödet på avrinningen. Vid kontroll med regnserie för 2014 var skillnaden mellan metoderna i genomsnitt cirka 5 % för den totala volymen vatten och för maxflödet i genomsnitt cirka 3 %, vilket ansågs som en godtagbar differens.

Nätverkssimuleringen gjordes utifrån de dynamiska vågekvationerna, vilket är en fullständig dynamisk beskrivning av de krafter som påverkar vågrörelsen (DHI, 2016e). Förutom gravitations- och friktionskrafter tar dynamisk vågteori även hänsyn till tröghetskrafter, även kallade accelerationskrafter, samt tryckkrafter.

Efter att modellen omarbetats kunde inledningsvis en simulering i MU utföras utan regnvattentunnor, för att på så sätt få basdata över hur mycket dagvatten och spillvatten som flödar i systemet. Simuleringarna i MU utfördes med en regnserie från DHI med regndata för 2014 från en mätstation på Torpagatan, vilket ligger relativt nära studieområdet. Efter att simuleringen utan regnvattentunnor genomförts placerades tunnor ut i modellen för att kunna utvärdera deras påverkan på översvämningar och bräddningar i området.

Vid utplaceringen av regnvattentunnor i MU användes resultatet, angående stuprör och takarea, från dimensioneringen av en regnvattentunna presenterad i kapitel 4.1. Resultatet visade att i genomsnitt har varje villa 2,5 stuprör, eftersom det dock inte går att göra beräkningar på halva stuprör i MU antogs det att varje hus har 2 stuprör. Medeltakarean per hus, det vill säga medelarean per stuprör multiplicerat med två, har således exkluderats från hela avrinningsområdet och istället tilldelats regnvattentunnorna. I LID-funktionens inställningar valdes även dimensionerna på tunnan, de dimensioner som användes kom från resultatet av den regnvattentunna som kunde tillvarata störst andel dagvatten enligt kapitel 4.1

Slutligen genomfördes en simulation med de utplacerade regnvattentunnorna och dess tilldelade takarea, genom samma två steg som förklarats tidigare. Flödet till Ryaverket och i en bräddningspunkt kunde därefter studeras, med och utan regnvattentunnor, för att på så sätt utvärdera tunnornas inverkan på avloppsledningssystemet. Även den maximala trycklinjen studerades för att utvärdera regnvattentunnornas förmåga att minska översvämningar i området.

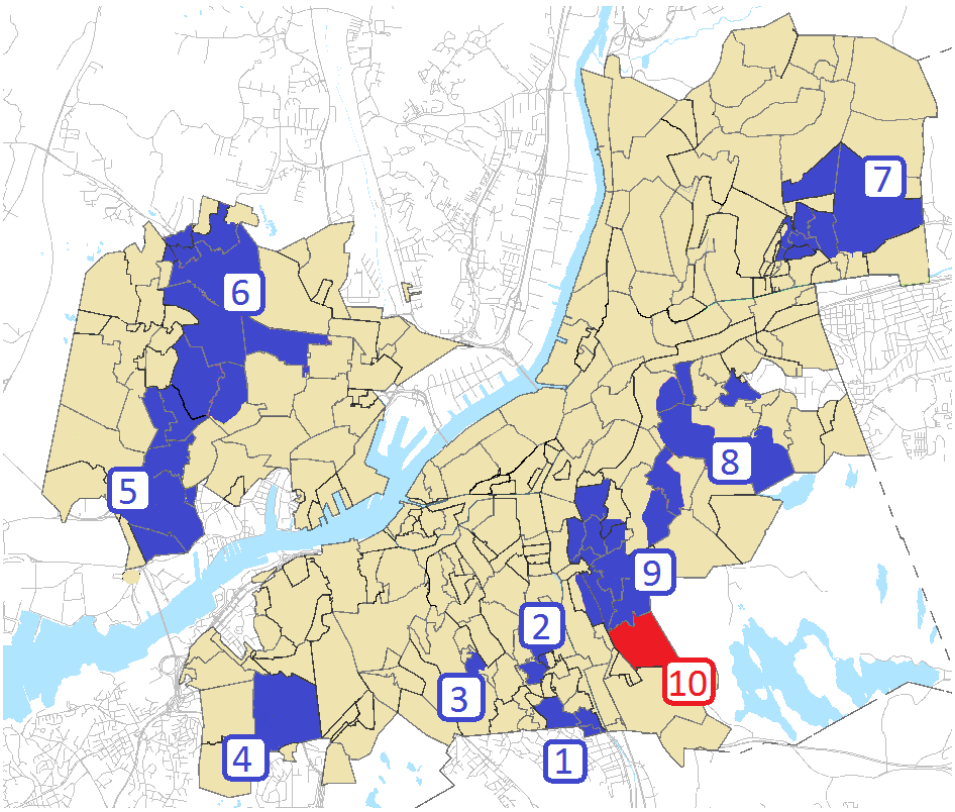
### 3.2.3 Simulering utifrån prognoser för regn år 2050

För att få en uppfattning över om regnvattentunnor kan vara en hållbar dagvattenhanterings-lösning år 2050, genomfördes samma simulering som förklarades i kapitel 3.2.2 men med en annan regnserie. Som nämnt i kapitel 2.5 kommer årsnederbörden i Sverige att ha ökat med

cirka 20 % om 35 år. Enligt Niklas Blomquist, hydrogeolog på Stadsbyggnadskontoret (personlig kommunikation, 2016-04-26) räknar Göteborgs Stad med en skalfaktor på 1,2 för att få en uppskattning på regnmängder år 2050. Således skalades regnserien från 2014 upp med 20 % och modellerades därefter i MU. Resultatet av detta jämfördes därefter med resultatet från 2014, för att på så sätt analysera om bräddningar och översvämningar kommer öka i studieområdet. Följaktligen har ett svar kunnat fås på om regnvattentunnorna kommer att ha tillräcklig kapacitet år 2050.

### 3.3 Påverkan på Ryaverket vid storskalig användning av regnvattentunnor

För att kunna uppskatta regnvattentunnornas effekt på flödet till Ryaverket gjordes inledningsvis en sammanställning över vilka stadsdelar som skulle kunna vara relevanta för implementering av regnvattentunnor. Detta gjordes utifrån en karta över de områden i Göteborg som är kopplade till det kombinerade systemet, se figur D.1 i bilaga D. De områden som ansågs ha betydelse för studien, det vill säga villaområdena, visas i figur 3.4 nedan.




*Figur 3.4. Karta över Göteborg där de områden som innefattar många villor är blåa, studieområdet är rött och där numreringen av ytorna anger de olika stadsdelarna.*

De relevanta områdena studerades sedan var för sig med hjälp av satellitbilder (Google, 2016b), för att på så sätt få en uppskattning om det ungefärliga antalet villor i respektive område. Antalet villor per stadsdel presenteras tillsammans med antalet regnvattentunnor per område i tabell 3.2. Regnvattentunnornas antal har erhållits genom att multiplicera antalet villor med det genomsnittliga antalet stuprör per villa, det vill säga 2,5, vilket behandlades i kapitel 4.1.

*Tabell 3.2. En uppskattning över antalet villor per stadsdel samt hur många regnvattentunnor som skulle kunna implementeras i respektive stadsdel. Numreringen framför stadsdelarna stämmer överens med figur 3.4 ovan.*

| **Stadsdel** | **Antal villor** | **Antal regnvattentunnor** |
|---|---|---|
| 1. Krokslätt | 170 | 425 |
| 2. Johanneberg | 180 | 450 |
| 3. Guldheden | 70 | 175 |
| 4. Kungsladugård | 330 | 825 |
| 5. Bräcke/Kyrkbyn (Lundby) | 1200 | 3000 |
| 6. Lundby/Tollered/Kärrdalen | 2400 | 6000 |
| 7. Utby | 1000 | 2500 |
| 8. Kålltorp | 1100 | 2750 |
| 9. Örgryte | 920 | 2300 |
| 10. Studieområdet | 145 | 320 |
| **Totalt antal** | **7515** | **18745** |

För att kunna göra en uppskattning av hur mycket varje stadsdel påverkar vattenflödet till Ryaverket har beräkningarna, som är utförda i MATLAB, utgått från en regnvattentunnas kapacitet att koppla bort vatten, se kapitel 3.1.1. För varje stadsdel har sedan en tunnas bortkopplingskapacitet förstorats upp med antalet regnvattentunnor i respektive stadsdel. Därmed har varje stadsdels flödesförändring tagits fram. Detta har gjorts för varje 15-minutersperiod under 2014 och den tillämpade regnvattentunnans dimensioner valdes utifrån resultatet av den tunna som kan tillvarata störst andel vatten i kapitel 4.1.

Då varje stadsdels flödesförändring beräknats kunde slutligen det nya flödet till Ryaverket, $Q_{RNY}$, beräknas med MATLAB enligt ekvation 3 nedan. Detta utfördes genom att Ryaverkets tillflöde för år 2014, $Q_R$, (personlig kommunikation David I'Ons, 2016-03-31) subtraherades med varje stadsdels flödesförändring, $\Delta Q$. Som tidigare nämnt tar det tid för vattnet att rinna från varje område till Ryaverket, vilket det i ekvationen kompenserades för genom att en fördröjningseffekt av tillrinningstiden,$t_R$, lades till. DHI har tillsammans med Gryaab tagit fram en uppskattning av ungefärliga tillrinningstider vid olika flöden till Ryaverket, vilka redovisas i tabell D.1 i bilaga D. Fullständiga beräkningar i MATLAB redovisas i bilaga C.2.

$$Q_{RNY}(t + t_R) = Q_R(t + t_R) - \Delta Q(t) \qquad (3)$$

där

| | |
|---|---|
| $Q_{RNY}$ | Nytt flöde till Ryaverket [$m^3/s$] |
| $Q_R$ | Flöde till Ryaverket för år 2014 [$m^3/s$] |
| $t$ | Tidpunkt [-] |
| $t_R$ | Tillrinningstiden [h] |
| $\Delta Q$ | Flödesminskningen på grund av regnvattentunnor i ett område [$m^3/s$] |

På detta sätt har den totala mängden vatten som flödar till Ryaverket år 2014 jämförts med den volym vatten regnvattentunnorna uppskattas kunna koppla bort från systemet. Beräkningarna gjordes dock med antagandet att allt dagvatten som regnvattentunnorna

tillvaratar skulle ha nått Ryaverket utan implementeringen av tunnor, det vill säga tas ingen hänsyn till bräddningar och eventuella läckor som skulle kunna påverka vattenflödet.

Som nämnt i kapitel 2.2 uppkommer svårigheter med att rena allt inkommande vatten då flödet till Ryaverket överstiget 7 $m^3/s$. För att se i vilken utsträckning flödestopparna skulle minska på Ryaverket studerades följaktligen antalet 15-minuters perioder per år då flödet överstiger 7 $m^3/s$, både med och utan implementering av regnvattentunnor. Detta gjordes genom en jämförelse i kalkylprogrammet Excel mellan flödesdata för år 2014 och den uppskattade nya flödesdata med regnvattentunnor från ekvation 3 ovan. För att få en överblick av under vilka delar av året dessa flöden skiljde sig åt plottades flödesdata slutligen upp i en graf.

## 3.4 Kostnadsberäkning på regnvattentunnor genom värderingstal

Investeringskostnaderna för regnvattentunnorna har uppskattats genom dialog med återförsäljare av tunnor, sökning av befintliga produkter på marknaden samt genom en ingenjörsmässig uppskattning. För att kunna beräkna kostnadseffektiviteten för tunnorna användes ett så kallat värderingstal, se ekvation 4, ju lägre värderingstal desto mer kostnadseffektivt. Värderingstal används av Kretslopp och Vatten i syfte att prioritera och jämföra olika ledningsprojekt med varandra eller för att prioritera åtgärder på ledningsnätet för ett enskilt projekt (Nilsson & Ljunggren, 2010). Det är alltså en metod som visar hur mycket det kostar att leda bort en kubikmeter vatten från systemet.

$$V_d = \frac{P \cdot a - (q_b \cdot k_b + q_p \cdot k_p)}{q} \qquad (4)$$

där

| | |
|---|---|
| $V_d$ | Värderingstal [kr/$m^3$] |
| $P$ | Investeringskostnad [kr] |
| $a$ | Annuitetsfaktor |
| $q_b$ | Minskad mängd bräddvatten i ledningsnätet [$m^3$/år] |
| $k_b$ | Kostnad bräddning till recipient [kr/$m^3$] |
| $q_p$ | Minskad pumpning till Ryaverket [$m^3$/år] |
| $k_p$ | Kostnad pumpning ledningsnät [kr/$m^3$] |
| $q$ | Minskad mängd dagvatten i ledningsnätet [$m^3$/år] |

Ekvationen utgår från annuitetsmetoden, där investeringskostnaden betalas av under den antagna drifttiden. Enligt Yvonne Nyberg, försäljare på Green Life (personlig kommunikation, 2016-04-13) antas en tunna ha en ungefärlig livslängd på 10 år, följaktligen användes 10 års avskrivningstid vid beräkningen av annuitetsfaktorn. Kalkylräntan sattes till 4 %, då det vanligtvis är det Kretslopp och Vatten använder sig av (Nilsson & Ljunggren, 2010). Den mängd dagvatten som leds bort från systemet erhölls utifrån resultatet i kapitel 4.1.

Miljövinsten, i form av minskad mängd bräddvatten till recipienten, beräknades utifrån resultatet angående minskning av bräddningar i kapitel 4.2 samt de estimerade kostnaderna på bräddningarna. Göteborgs Stad använder värden på utsläpp av bräddvatten enligt danska utsläppsavgifter och räknar med en kostnad på 0,64 kronor per bräddad kubikmeter (Nilsson & Ljunggren, 2010). Denna kostnad tar då hänsyn till utsläpp av kväve och fosfor till recipienten. Dock var det endast typtunna 9 som användes i simuleringarna i kapitel 4.2, vilket innebär att miljövinsten enbart kunde beräknas för denna regnvattentunna. Således

gjordes denna beräkning separat och endast för en typtunna, för att på få en uppfattning om miljövinstens påverkan på värderingstalet.

Energivinsten av minskade pumpningskostnader försummades eftersom kostnaderna antogs vara relativt små i jämförelse med investeringskostnaden, samt att det finns en osäkerhet kring om regnvattentunnorna kommer minska flödet i ledningarna. Detta ledde till att ekvationen för värderingstal kunde förenklas till ekvation 5 nedan.

$$V_d = \frac{P \cdot a}{q} - \frac{q_b \cdot k_b}{q} \qquad (5)$$

där

| | |
|---|---|
| $V_d$ | Värderingstal [kr/m$^3$] |
| $P$ | Investeringskostnad [kr] |
| $a$ | Annuitetsfaktor |
| $q_b$ | Minskad mängd bräddvatten i ledningsnätet [m$^3$/år] |
| $k_b$ | Kostnad bräddning till recipient [kr/m$^3$] |
| $q$ | Minskad mängd dagvatten i ledningsnätet [m$^3$/år] |

Värderingstal beräknades för den typtunna i varje enskild storlek, det vill säga 200, 300 och 400 liter, som kunde tillvarata mest dagvatten enligt resultatet i kapitel 4.1. Värderingstalen jämfördes sedan med värderingstal för separering av kombinerade ledningar, vilket tillhandahölls från beräkningar gjorda av Kretslopp och Vatten till 15-20 kr/m$^3$. De uträkningarna gjordes utifrån att investeringskostnaderna som enligt Alenius (personlig kommunikation, 2016-04-26), kunde antas vara 20 000 - 25 000 kronor per meter ny ledning. Dessutom togs hänsyn till andel hårdgjord yta i studieområdet och till att avskrivningstiden på ett duplikatsystem är 50 år.

# 4 Resultat

Utifrån delkapitlen i metoden, se kapitel 3, presenteras nedan de resultat som erhållits. Först bestäms vilka dimensioner på regnvattentunnan som är mest optimala för studien. Därefter presenteras resultat från flödesmodelleringen i studieområde, både med regn från 2014 och 2050. Vidare visas vilken påverkan tunnorna skulle kunna ha på Ryaverket och slutligen görs en kort kostnadsanalys av regnvattentunnorna.

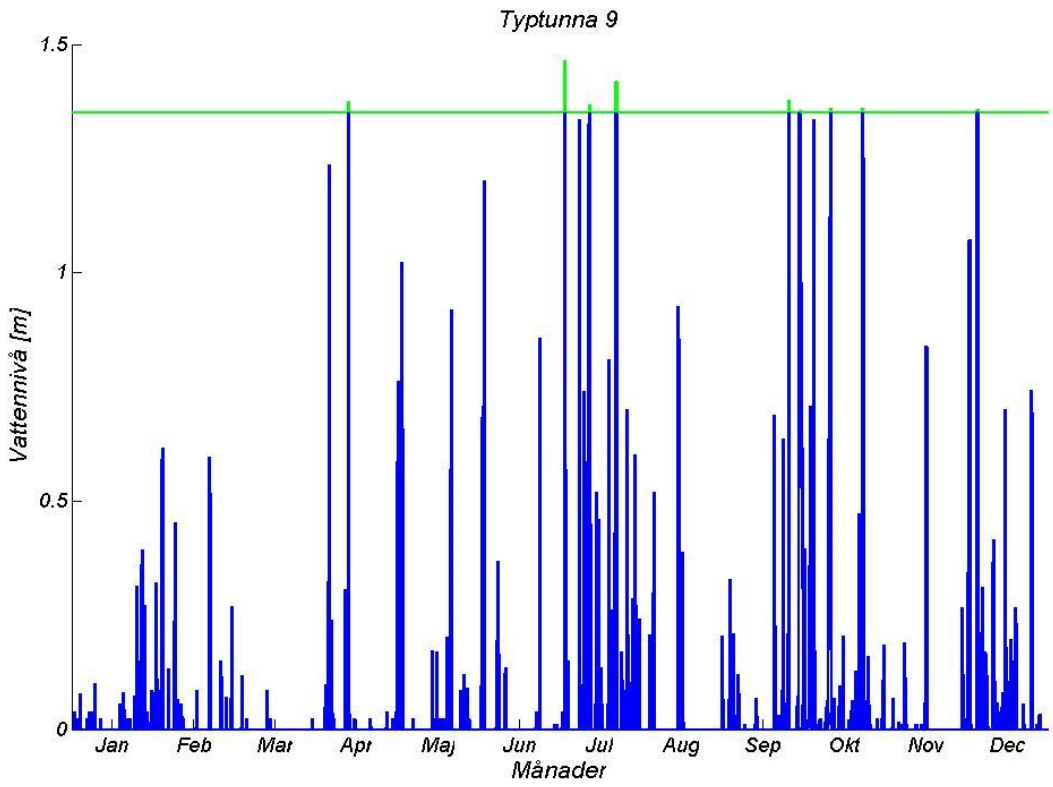
## 4.1 Dimensionering av en regnvattentunna

Utifrån observationerna i *Solkartan* och *Google Maps Street View* bestämdes medelarean av villornas tak per stuprör till 59 $m^2$ och det genomsnittliga antalet stuprör per hus till 2,5. Vidare beräknades, utifrån medelarean, den totala volymen dagvatten som under 2014 teoretiskt kan ledas till en regnvattentunna vara 41 $m^3$. Därefter beräknades hur stor andel av dagvattnet som de olika typtunnorna kunde tillvarata utifrån tunnans volym, utflödet genom uttappningshålet och hur mycket vatten som delaren leder ner till systemet då tunnan är full. Detta har sammanställts i tabell 4.1 nedan.

*Tabell 4.1. De nio olika typtunnornas förmåga att tillvarata dagvatten, där typtunna 9 är den som tillvaratar störst andel och därmed även har det största maximala utflödet.*

| | **Tillvaratagen volym [$m^3$]** | **Andel tillvarataget dagvatten [%]** | **Maximala utflödet [l/s]** |
|---|---|---|---|
| **Typtunna 1 (200 *l* $\phi$ 1)** | 20,5 | 50,0 | 0,0029 |
| **Typtunna 2 (200 *l* $\phi$ 3)** | 35,6 | 86,9 | 0,0265 |
| **Typtunna 3 (200 *l* $\phi$ 5)** | 39,7 | 96,9 | 0,0707 |
| **Typtunna 4 (300 *l* $\phi$ 1)** | 23,6 | 57,7 | 0,0030 |
| **Typtunna 5 (300 *l* $\phi$ 3)** | 37,4 | 91,3 | 0,0272 |
| **Typtunna 6 (300 *l* $\phi$ 5)** | 40,5 | 98,8 | 0,0725 |
| **Typtunna 7 (400 *l* $\phi$ 1)** | 27,3 | 66,6 | 0,0035 |
| **Typtunna 8 (400 *l* $\phi$ 3)** | 39,5 | 96,4 | 0,0316 |
| **Typtunna 9 (400 *l* $\phi$ 5)** | 40,9 | 99,8 | 0,0842 |

För att få en tydligare bild över hur vattennivån i typtunnorna varierar under studieåret gjordes diagram där detta illustrerades. Då typtunna 9 var den tunna som kunde tillvara störst andel dagvatten enligt tabell 4.1 ovan, visas ett sådant diagram för den typtunnan i figur 4.1 nedan.




*Figur 4.1. Diagram över hur vattennivån varierar i typtunna 9 under 2014. De blå staplarna visar vattennivån i tunnan, den gröna linjen representerar regnvattentunnans övre kant och de gröna staplarna visar höjden på det vattnet som leds direkt tillbaka till systemet.*

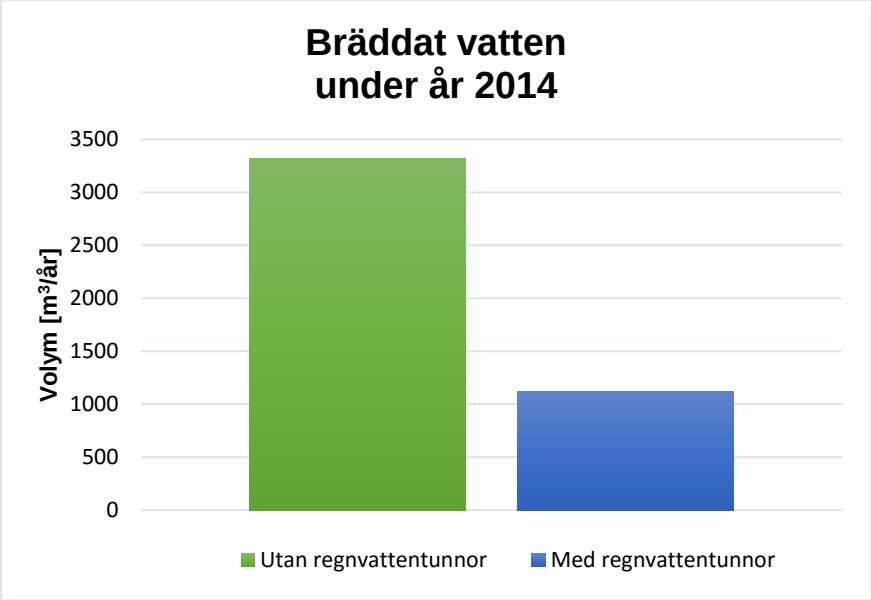
Utifrån jämförelsen av typtunnornas förmåga att tillvarata dagvatten ansågs typtunna 9, det vill säga en 400-liters tunna med ett uttappningshål på 5 millimeter, som den bäst lämpade för studien och är den som används i resterande resultat.

## 4.2 Simuleringsresultat för översvämningar och bräddningar i studieområdet

Utifrån simuleringarna beskrivna i kapitel 3.2 presenteras nedan resultat över vilken påverkan regnvattentunnorna har på bräddningar och översvämningar i studieområdet. Först med hänsyn till år 2014, därefter utifrån prognostiserade regnvärden för år 2050.

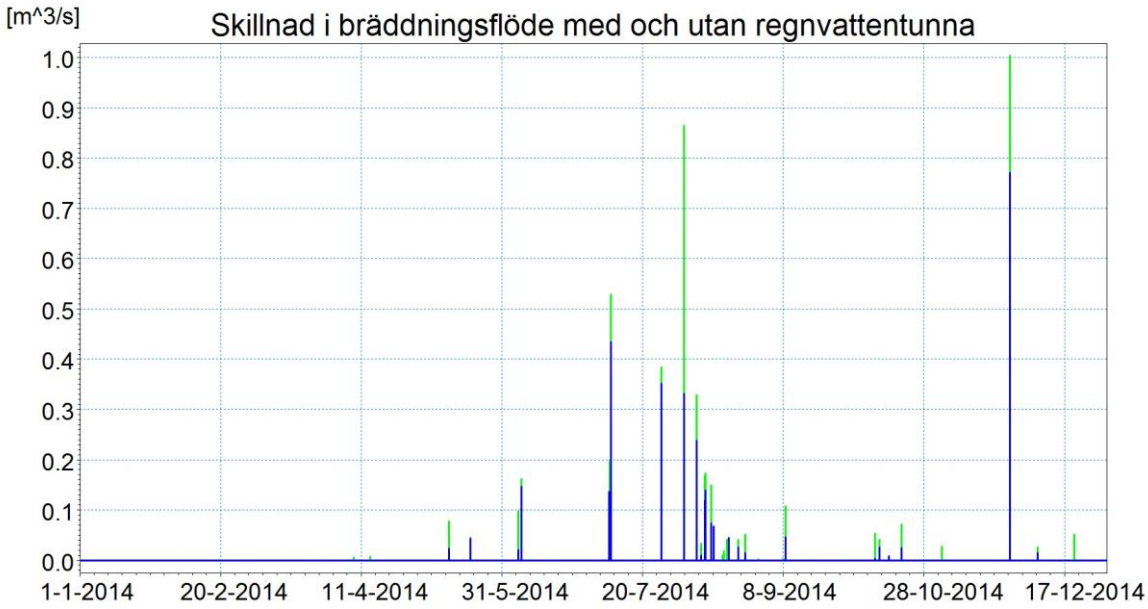
### 4.2.1 Simuleringar för år 2014

I MIKE URBAN placerades totalt 320 tunnor ut i studieområdet, kopplade till ett tak med medelarean på 59 $m^2$. Regnvattentunnornas påverkan på lokala bräddningar studeras genom att jämföra skillnaden på volymen av det bräddade vattnet, med och utan regnvattentunnor. Som diagrammet i figur 4.2 visar minskar volymen bräddat vatten med ungefär 70 % efter implementering av regnvattentunnor.



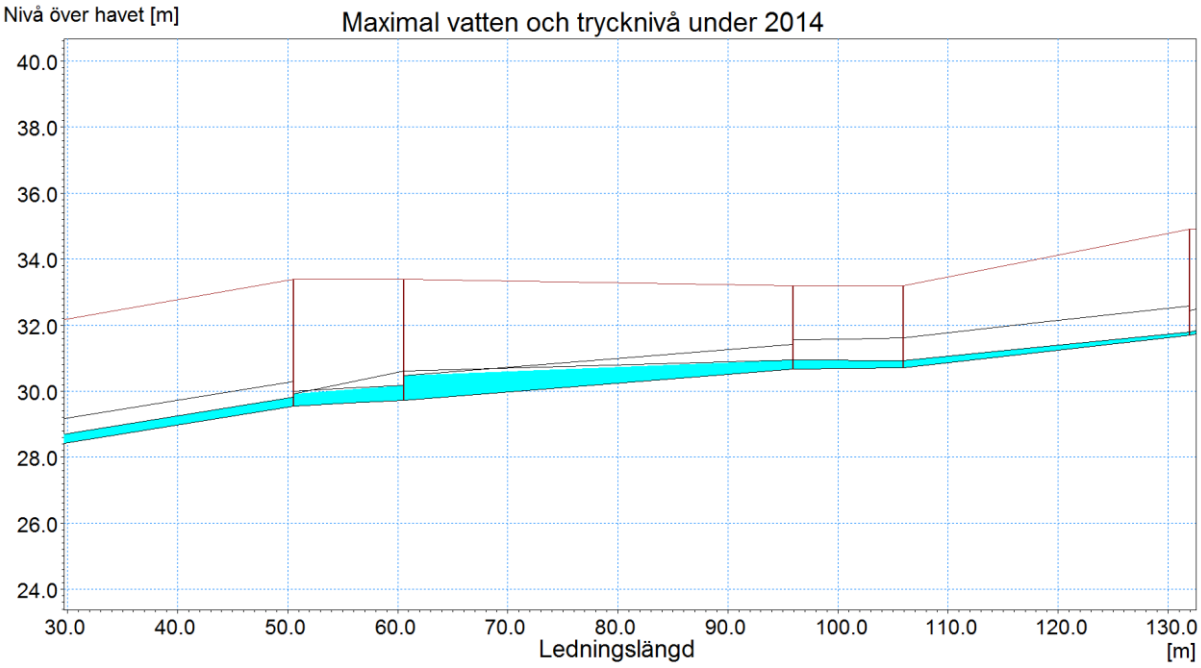

*Figur 4.2. Skillnaden i volym av bräddat vatten innan respektive efter implementering av regnvattentunnor.*

Regnvattentunnornas effekt på lokala bräddningar under olika tidpunkter på året 2014 presenteras i figur 4.3. Diagrammet visar alla tidpunkter de lokala bräddningarna inträffade samt hur bräddningsflödet varierade under året i bräddningspunkten.



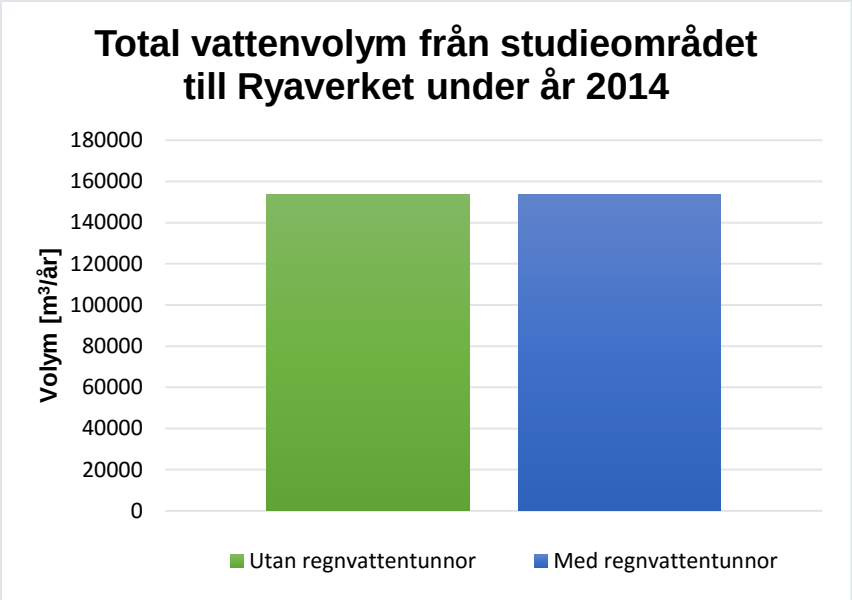

*Figur 4.3 Skillnaden i bräddflödet under år 2014, där flödet utan tunnor är grönt och med tunnor blått. Figuren illustrerar dessutom att de flesta bräddningarna sker under sommaren*

Ur resultatet från simuleringarna kunde även regnvattentunnornas inverkan på översvämningar studeras utifrån vattnets trycklinje. Figur 4.4 visar den tidpunkt under år 2014 då det var störst nederbörd på kort tid, det vill säga då ledningsnätet belastades som mest och det därmed fanns störst risk för översvämningar. Som figuren illustrerar överstiger trycknivån ledningen kant ytterst lite vid ledningslängden 50 meter, vilket innebär att risken för översvämning är minimal. Följaktligen finns det heller inte någon risk för översvämningar efter implementeringen av regnvattentunnor, då de minskar flödet i ledningarna.




*Figur 4.4. Översvämningar för en ledningsdel under den mest regnintensiva perioden under 2014. Figuren visar ledningar och brunnar i rött, samt den aktuella vattennivån i blått.*

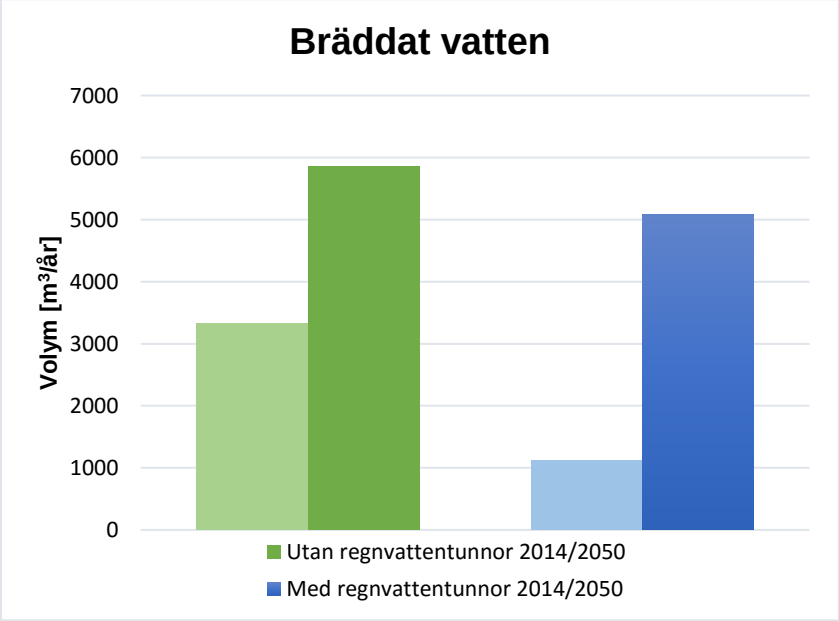
Slutligen studerades skillnaden av den totala volymen vatten som leds till Ryaverket från studieområdet, med och utan användningen av regnvattentunnor. Som diagrammet i figur 4.5 visar är dock skillnaden av dag-, drän- och spillvatten i ledningssystemet under år 2014 inte märkbar.




*Figur 4.5. Påverkan på den totala mängden vatten från studieområdet till Ryaverket innan och efter implementering av regnvattentunnor är i princip densamma för år 2014.*

### 4.2.2 Simuleringar för år 2050

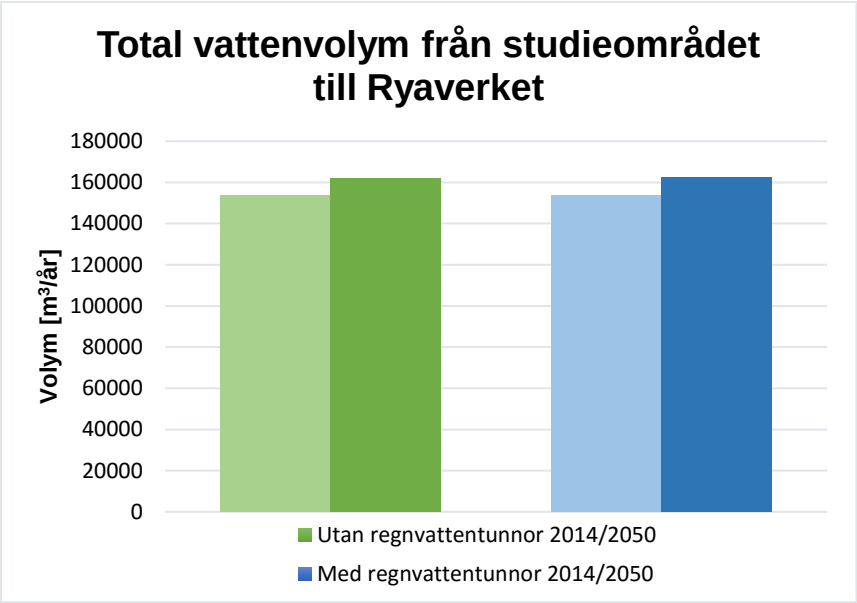
Då det prognostiserade värdet på regn för år 2050 användes i simuleringarna visade det sig att bräddningarna ökar i studieområdet, oavsett om regnvattentunnor användes eller inte. Som visas i figur 4.6 ökade den bräddade vattenvolymen med drygt 75 %, från år 2014 till år 2050, då regnvattentunnor inte användes. Efter att regnvattentunnor implementerades i modellen nästan fyrdubblades den bräddade vattenvolymen från resultaten från år 2014 och minskade bräddningarna med knappt 15 % jämfört med utan tunnor år 2050.




*Figur 4.6. Skillnaden i den bräddade vattenvolymen för år 2014 och år 2050, innan och efter implementering av regnvattentunnor.*

Den totala vattenmängden från studieområdet till Ryaverket illustreras i figur 4.7 för år 2014 samt år 2050, både med och utan användning av regnvattentunnor. Som figuren visar är

skillnaden i det totala flödet för framtidsprognosen, precis som för år 2014, i stort sett obefintlig.



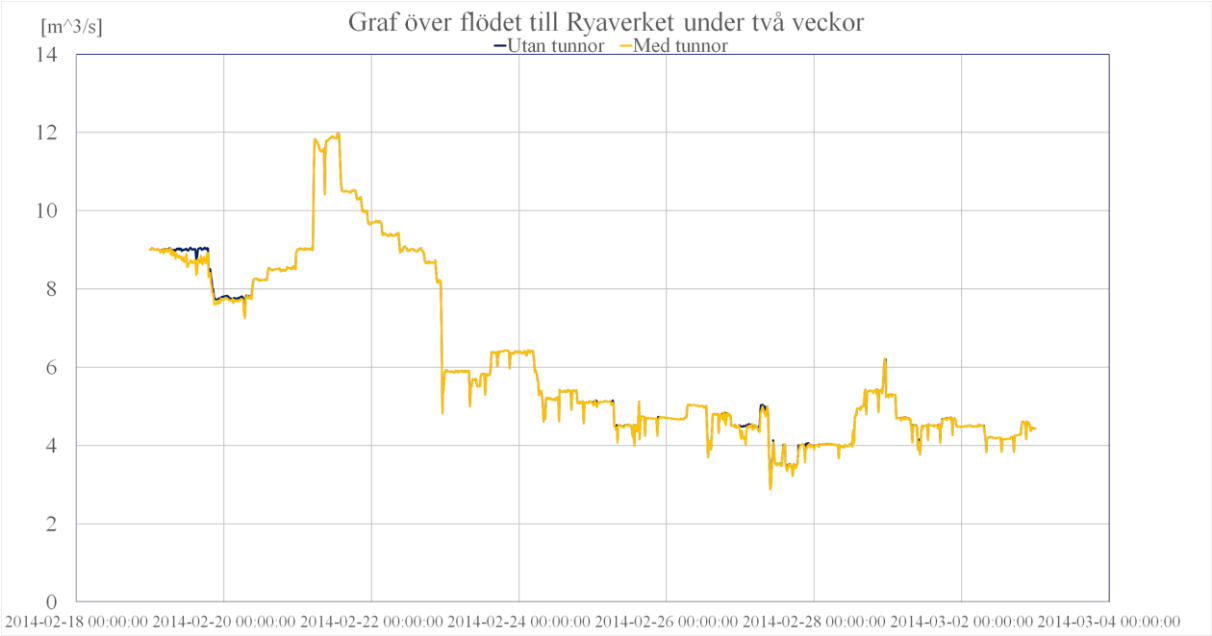

*Figur 4.7. Påverkan på den totala vattenvolymen, innan och efter implementering av regnvattentunnor, för år 2014 samt år 2050.*

Vid analys av ledningsnätet under den tidpunkt med störst nederbörd år 2050 observerades inga översvämningar, men en något ökad risk kunde konstateras.

## 4.3 Påverkan på Ryaverket vid storskalig användning av regnvattentunnor

Den totala volymen vatten som nådde Ryaverket under studieåret 2014 var enligt given flödesdata ungefär 130 miljoner kubikmeter (personlig kommunikation David I'Ons, 2016-03-31). Med regnvattentunnor implementerade i de för studien relevanta områdena skulle enligt beräkningarna maximalt 650 000 kubikmeter kunna ledas bort. Det innebär att den totala volymen vatten till Ryaverket under år 2014 skulle kunna minskas med upp till 0,5 % vid utplacering av regnvattentunnor.

Antalet 15-minuters perioder där flödet till Ryaverket överstiger 7 $m^3/s$ beräknades genom Excel till att vara drygt 3000 stycken för år 2014. Av dessa perioder med flödestoppar kunde ungefär ett 30-tal, ca 1 %, understiga flödet på 7 $m^3/s$ med hjälp av regnvattentunnor. Skillnaden på flödestopparna över året kan jämföras i figur D.2 i bilaga D där flödet vid Ryaverket är grafiskt ritat, med och utan tunnor. En del av figur D.2 visas i figur 4.8 nedan, där flödestopparnas variationer över två veckor i slutet på februari illustreras. Kurvorna i figuren indikerar att flödet till Ryaverket, med och utan regnvattentunnor, väldigt sällan skiljer sig åt. Det skulle innebära att regnvattentunnorna har en ytterst liten påverkan på flödestopparna vid Ryaverket.




*Figur 4.8. Graf över det totala flödet till Ryaverket under två veckor i februari 2014. Den gula kurvan visar flödet med tunnor, medan den blå kurvan visar flödet utan tunnor, det vill säga de gånger då flödet kan minskas.*

## 4.4 Regnvattentunnornas kostnadseffektivitet

Uppskattningen av kostnaden för investering av regnvattentunnor utfördes genom en ingenjörsmässig uppskattning av marknadspriset för en regnvattentunna, i de tre undersökta storlekarna, samt för de övriga delarna. Installationen antas ta en timme och utföras av en hantverkare. De uppskattade kostnaderna samt ett exempel på en leverantör redovisas i tabell 4.2 nedan.

*Tabell 4.2. Översikt över kostnaderna för en regnvattentunna, dess enskilda delar samt installationen av den.*

| | **Kostnad [SEK]** | **Exempel på leverantör** |
|---|---|---|
| Tunna (200 *l* / 300 *l* / 400 *l*) | 150 / 225 / 300 | Yvonne Nyberg, Green Life (personlig kommunikation, 2016-04-13) |
| Regndelare | 150 | Yvonne Nyberg, Green Life (personlig kommunikation, 2016-04-13) |
| Slang d=13 mm, 2,5 m lång | 25 | (Granngården, 2016a) |
| Uttappningsanordning | 100 | (Granngården, 2016b) |
| Installation | 500 | Genomsnittlig timlön för hantverkare |
| **Totalt (200 *l* / 300 *l* / 400 *l*)** | **925 / 1000 / 1075** | |

Utifrån de uppskattade kostnaderna beräknades värderingstal för Typtunna 3, 6 och 9, se tabell 4.3. Dessa beräknades utifrån den totala investeringskostnaden för varje storlek av regnvattentunna samt hur mycket dagvatten den tunnan kunde tillvarata enligt beräkningarna i kapitel 4.1.

*Tabell 4.3. Värderingstal för de tre valda typtunnorna uträknade med ekvation 5 i kapitel 3.4. Typtunna 3 har lägst värderingstal, medan Typtunna 9 har högst trots att det är den som kan tillvarata störst andel vatten.*

| | **Typtunna 3 (200 *l*)** | **Typtunna 6 (300 *l*)** | **Typtunna 9 (400 *l*)** |
|---|---|---|---|
| Investeringskostnad [kr] | 925 | 1000 | 1075 |
| Drifttid [år] | 10 | 10 | 10 |
| Kalkylränta | 4 % | 4 % | 4 % |
| Annuitetsfaktor [-] | 0,1233 | 0,1233 | 0,1233 |
| Tillvaratagen volym dagvatten [$m^3$/år] | 37,05 | 38,57 | 40,19 |
| **Värderingstal [kr/$m^3$]** | **2,87** | **3,04** | **3,24** |

Kretslopp och Vatten beräknade ett värderingstal för separering av kombinerade ledningarna i studieområdet till 15-20 kr/$m^3$. Som nämndes i kapitel 3.4 är kostnadseffektiviteten högre ju lägre värderingstalet är. I tabell 4.4 nedan visas att värderingstalen för alla de tre undersökta tunnorna är lägre än det för ombyggnation av ledningsnätet i området.

*Tabell 4.4. Jämförelse av värderingstal för tre olika typtunnor och ombyggnation av kombinerat system till duplikatsystem.*

| | **Typtunna 3 (200 *l*)** | **Typtunna 6 (300 *l*)** | **Typtunna 9 (400 *l*)** | **Separering av kombinerade ledningar** |
|---|---|---|---|---|
| **Värderingstal [kr/$m^3$]** | 2,87 | 3,04 | 3,24 | 15-20 |

Värderingstalen i tabell 4.4 är beräknade utan hänsyn till miljövinsterna, alltså den minskade kostnaden på grund av ändrade bräddningsvolymer per år. I tabell 4.5 redovisas den skillnad miljövinsten skulle ge på värderingstalet för typtunna 9 med hänsyn till skillnaden i bräddningsvolym, med och utan tunnor, i kapitel 4.2.

*Tabell 4.5. Förändring av värderingstal för typtunna 9 om hänsyn tas till miljövinsterna.*

| | **Typtunna 9 (400 *l*)** |
|---|---|
| Minskning av total bräddningsvolym i ledningsnätet [$m^3$/år] | 2207 |
| Minskning av bräddningsvolym per tunna [$m^3$/år] | 6,90 |
| Kostnad för bräddningar [kr/$m^3$] | 0,64 |
| Förändring av värderingstal [kr/$m^3$] | - 0,11 |

# 5 Diskussion

Det finns många aspekter att ta hänsyn till för att kunna avgöra i vilken utsträckning regnvattentunnor skulle kunna avlasta Göteborgs avloppsledningssystem. Utifrån studiens syfte diskuteras nedan olika för- och nackdelar med studiens metod och resultat. Diskussionen avslutas med rekommendationer för eventuellt kommande studier.

## 5.1 Valet av regnvattentunna

Det finns många olika aspekter kring vad som gör en tunna väldimensionerad. Förmågan att fördröja vatten, hur tunnorna ska tömmas och vilket maximalt utloppsflöde tunnan har är några av aspekterna som bör beaktas.

### 5.1.1 Utformning av regnvattentunnans dimensioner

Utformningen av studiens regnvattentunna grundade sig på en jämförelse av så kallade typtunnor. Dimensioneringen utav typtunnorna har, som nämnts i kapitel 3.1.2, utgått från dimensionerna av regnvattentunnan i *The Wingham rain barell study*. Typtunna 1 har följaktligen samma dimensioner som de i den kanadensiska studien, det vill säga 200 liter och med ett uttappningshål på 1 millimeter i diameter. Därefter skalades dimensionerna och diametrarna på uttappningshålet upp på ett systematiskt sätt tills dess att nio typtunnor erhållits.

Resultatet i kapitel 4.1 visar att typtunna 9 är den regnvattentunna som tar hand om störst andel dagvatten från takytan, nämligen 99,8 %. Detta förklaras av att det är den tunnan med störst volym och störst diameter på uttappningshål. Det resultatet kan verka trivialt, då större volym och diameter på uttappningshålet innebär att tunnan kan tillvarata större mängder vatten. Dock tyder undersökningen på att den parameter som främst påverkar en regnvattentunnas förmåga att tillvarata dagvatten är uttappningshålets diameter snarare än tunnans volym. När en tunnas volym ökas sker nämligen en relativt liten ökning av andel tillvarataget dagvatten, om däremot uttappningshålets storlek ändras sker en betydligt större ökning. Ytterligare en observation som stöder detta antagande är att typtunna 3, som har volymen 200 liter och ett uttappningshål med diametern 5 millimeter, tar tillvara på mer dagvatten än typtunna 8 som har volymen 400 liter och diameter på 3 millimeter.

Anledningen till att större volym på typtunnor inte undersöktes, var att det inte kunnat observeras på marknaden. Valet av diameter på uttappningshålet var däremot något mer komplicerat, då ingen tidigare undersökt studie använts sig av det. Som nämnt i kapitel 2.4.1 finns det en osäkerhet kring hur stort flöde marken i Göteborg klarar av att infiltrera. Därför har dimensionerna från uttappningshålet valts i ett förhållandevis stort spann för att testa flera olika fall. Resultatet för regnvattentunnorna måste därför tolkas med försiktighet eftersom det inte alls är säkert att marken klarar att infiltrera detta vattenflöde. Infiltration och erosion diskuteras ytterligare i kapitel 5.1.3 längre ner.

### 5.1.2 Regnvattentunnans automatiska tömning

De framtagna typtunnorna i denna studie har ett självtömmande system med olika diametrar på uttappningshålet. Denna idé kom från en rekommendation i *The Wingham rain barell study* eftersom det visade sig att tunnorna stod överfulla en större del av året i den studien. I både den, *Rain Barrel – Urban Garden Stormwater Management Performance* och *Evaluating Rain Barrel Storm Water Management - Effectiveness across Climatography Zones of the United States* var nämligen tunnorna utformade för att husägarna själva skulle tömma regnvattnet manuellt och använda det för bevattning och dylikt, men detta gjordes inte i en större utsträckning.

Således kan både för- och nackdelar sägas om systemet med att ha automatisk tömning av dagvatten. Å ena sidan kan dagvattnet kontinuerligt användas i bevattning av trädgårdar, till diskvatten och dylikt om tunnan inte har ett självtömmande system. Då är dock risken att regnvattentunnan kommer stå full när ett nytt regn kommer och kan då följaktligen inte tillvarata lika stor andel dagvatten. Å andra sidan kan marken eventuellt ha svårt att infiltrera allt vatten som rinner från regnvattentunnorna, vilket kan leda till att det bildas stillastående vatten på gräsmattorna. Då regnvattentunnornas huvudsakliga syfte i denna studie är att försöka minska belastningen på avloppssystemet, genom att tillvarata dagvatten, anses ändå ett självtömmande system vara effektivast. Det systemet utnyttjar nämligen regnvattentunnornas fulla kapacitet och kan följaktligen avlasta avloppssystemet maximalt. Förhoppningsvis kommer marken kunna infiltrera allt dagvatten, men endast en lokal studie om markförhållandena kan svara på det.

### 5.1.3 Svårigheter med infiltration och erosion

Då största delen av Göteborg består av lera med låg eller ingen infiltrationskapacitet, är det inte troligt att dagvattnet från regnvattentunnorna kan infiltrera i leran. Följaktligen är tjockleken på matjorden, som ligger ovanpå lerlagret, av stor betydelse för hur infiltrationen kommer fungera. Det är således matjorden som antas ta upp vattnet från regnvattentunnorna. Enligt rapporten *Skyfallsmodellering för GBG* (Persson et al., 2015) är matjorden i Göteborgsområdet cirka 0,5 meter tjock, men kan variera mellan olika stadsdelar. Det innebär att det vid stora regnfall finns en risk att marken mättas av regnet vilket kan leda till att vattnet från tunnorna blir stående i någons trädgård.

Vid beräkningen på regnvattentunnor har den största utflödeshastigheten för de olika typtunnorna tagits fram. Detta för att jämföra olika alternativ och se om det är rimligt att marken klarar av att ta hand om detta flöde. Vid för stora flöden ökar risken för att markmaterialet kommer att erodera (Svenskt Vatten, 2011) samt ökar, som sagt, risken för att vattnet inte infiltrerar i marken. Detta gör att ett lägre flöde från regnvattentunnan är att föredra. De typtunnor som har minst översvämningar och således tar hand om störst andel vatten är de typtunnor med uttappningshål på 5 millimeter, se tabell 4.1 i kapitel 4.1. Dessa tunnor har dock störst utflödeshastighet vilket alltså kan leda till att det uppstår problem med att marken eroderar. De typtunnor med ett uttappningshål på 3 millimeter har däremot betydligt lägre utflödeshastighet, cirka 60 % lägre, vilket gör att risken för erosion minskar. Följaktligen ökar även sannolikheten att matjorden kan infiltrera allt dagvatten då utflödet från regnvattentunnan är mindre.

## 5.2 Osäkerheter i modelleringen av regnvattentunnor

Från resultatet av simuleringarna på studieområdet under år 2014, observerades det att bräddningarna i området skulle kunna minskas med uppemot 70 % vid användning av regnvattentunnor. Detta resultat grundar sig på flera antaganden, både med hänsyn till avgränsningarna i denna studie och osäkerheter i simuleringarna, vilket innebär att resultatet antagligen inte är helt trovärdigt. Även om MU anses vara ett tillförlitligt program, är det ändå viktigt att belysa att en modell aldrig fullt ut kan simulera verkligheten. Modellen som användes i studien tar bland annat inte hänsyn till läckor från ledningar och felkopplingar i ledningssystemet (Ramböll, 2014b), vilket skulle kunna påverka resultatet.

Att varje tak i studieområdet har antagits ha lika stora areor skapar ytterligare osäkerheter i resultaten. I verkligheten varierar takareorna på husen i området en hel del, vilket påverkar beräkningarna på vilken kapacitet en regnvattentunna har att tillvarata dagvatten. Med andra ord innebär det att en större andel dagvatten skulle kunna ledas bort från systemet om tunnan var i anslutning till ett tak med en mindre area än den beräknade medelarean. På samma sätt

skulle en mindre andel dagvatten kopplas bort om takarean var större än medelarean. Dessutom varierar antalet stuprör per hus beroende på hur villorna är utformade, vilket skapar ännu en osäkerhet i resultaten.

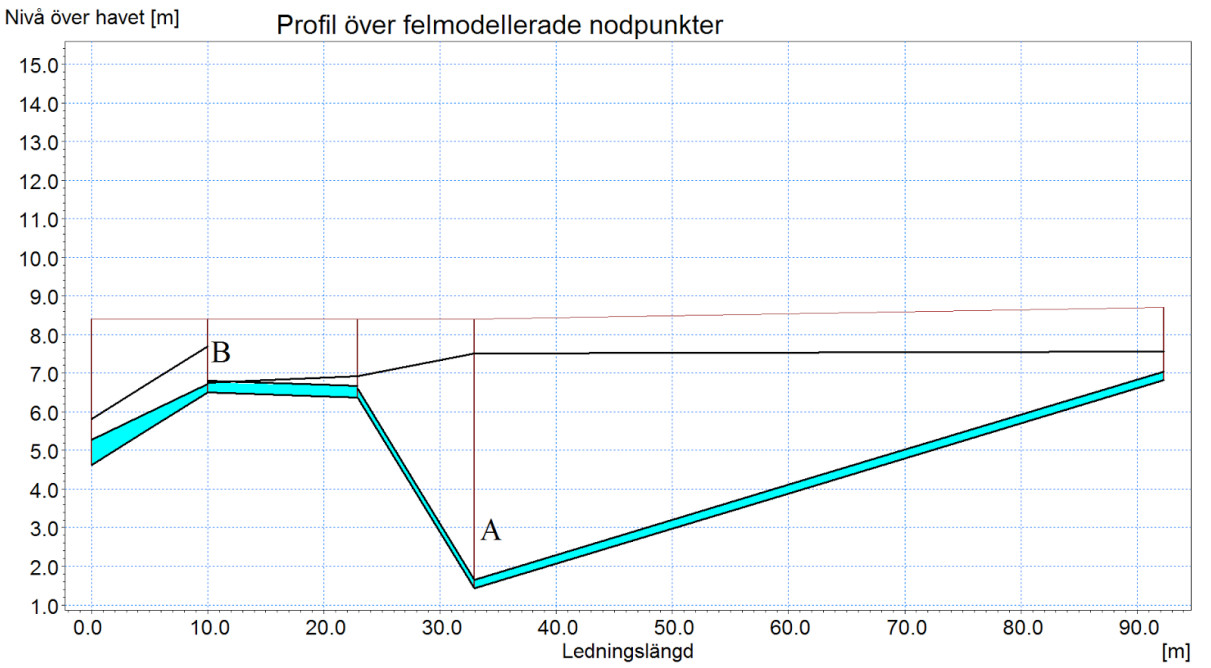
### 5.2.1 Skillnader i MATLAB och MIKE URBAN

Beräkningarna i MATLAB och simuleringarna i MU utgår från lite olika parametrar, närmare bestämt definieras bland annat regnvattentunnor på olika sätt i programmen. Utformningen av regnvattentunnan i MATLAB utgår ifrån att allt vatten som rinner ut ur uttappningsslangen infiltreras i marken och att dagvattnet leds ner direkt till ledningsnätet om tunnan är full. I MU är däremot LID-funktionen *Rain barrel* utformad så att både vattnet från uttappningsslangen och det som inte får plats i tunnan leds tillbaka till avrinningsområdet. Det vattnet kan sedan antingen ledas ner till systemet eller infiltreras ner i marken, beroende på hur vattenmättad marken är i området. Eftersom det är en skillnad på studiens utformning av regnvattentunnor och *Rain barrel*-funktionen är inte simuleringarna i MU fullt representativa för den valda utformningen. Trots denna skillnad är dock antagligen simuleringarna med *Rain barrel*-funktionen mer lik verkligheten då modellen tar hänsyn till att marken kan bli vattenmättad.

Ytterligare en skillnad mellan MU och MATLAB är att olika regnserier har använts. Vid beräkningarna i MATLAB användes en regnserie från SMHI medan DHI:s regnserie användes i simuleringarna i MU. Skillnaden mellan dessa serier är att de är uppmätta från olika mätstationer; SMHI:s station är belägen på ön Vinga utanför Göteborg (SMHI Öppna data, 2016b) och DHI:s på Torpagatan i närheten av studieområdet. Dessutom är regnserien från SMHI angiven i hur stor nederbörd det är per 15-minutersperiod medan DHI-serien är given i nederbörd per minut. Eftersom regnserien från DHI både är uppmätt närmare studieområdet och har mer noggranna tidsvärden, hade det varit fördelaktigt om den använts för alla beräkningar i studien. Det var emellertid inte möjligt då serierna är i olika filformat och en konvertering av DHI:s serie inte lyckades genomföras. Sammantaget är det dock troligt att det inte har haft så stor påverkan på studiens resultat, då de båda serierna är hämtade från samma år och mätstationerna ligger relativt nära varandra.

### 5.2.2 Upptäckta fel i MIKE URBAN-modellen

När resultatet av modelleringen skulle studeras med hänsyn till översvämningar, upptäcktes ett fel i modellen. Felet ligger i att två nodpunkter relativt nära bräddpunkten har givits fel höjd. Som figur 5.1 visar ligger den ena nodpunkten (A) betydligt lägre än vad marknivån samt närliggande punkter indikerar att den borde göra, vilket tyder på en felkonstruktion av modellen. Utifrån observationer av omkringliggande nodpunkter tyder det även på att nodpunkt (B) ligger högre i modellen än vad den i verkligheten gör. Det innebär att vattnet mellan dessa nodpunkter skulle ledas uppåt, vilket inte är rimligt utan en installerad pump. Således kommer antagligen lite vatten hela tiden vara stående i ledningen mellan dessa punkter. Med det sagt kommer vattnet ändå strömma genom ledningen vid tillräckligt höga tryck. Detta fel innebär alltså att trycklinjen ökar i området, vilket leder till en ökad risk för översvämningar. Eftersom felet i modellen, som sagt, inte motsvarar verkligheten kontrollerades inte risken för översvämningar i närheten av det området




*Figur 5.1. Profil över den felmodellerade sektionen av ledningsnätet där de felaktiga nodpunkten A ligger för lågt och punkten B för högt. Tillsammans bidrar felen till att vattennivån, det blåa, blir stående i ledningsnätet och att trycklinjen, den svarta linjen, ligger högt över ledningen.*

Denna felmodellering har sannolikt påverkat resultaten angående hur stor vattenvolym som bräddas i simuleringarna. Dock återfinns felen i simuleringarna både med och utan regnvattentunnor, vilket sannolikt innebär att det approximativa förhållandet mellan dessa simuleringar är korrekt. Följaktligen bör resultatet om regnvattentunnornas förmåga att minska bräddningar och översvämningar i området vara en rimlig uppskattning.

### 5.2.3 Regnvattentunnornas effektivitet år 2050

Klimatförändringarna kommer att påverka samhället i framtiden och för att få en uppskattning över hur regnvattentunnors kapacitet kan fungera år 2050 har en grov förenkling gjorts i modelleringarna. De utförda simuleringarna utgår nämligen ifrån att nederbörden för år 2014 skulle öka med 20 % fram till år 2050. Regnserien från 2014 multiplicerades således med 1,2 för att på så sätt få 20 % mer intensiva regn. Denna förenkling tar dock varken hänsyn till att det år 2050 troligtvis kommer regna fler dagar per år (SMHI, 2014), eller att regnets årsrytm antagligen kommer förändras då den största ändringen av nederbörd i södra Sverige kommer ske på vinterhalvåret (SMHI, 2015b). Följaktligen kommer antagligen inte resultatet till fullo spegla verkligheten.

I den tidigare nämnda studien om Stockholms avloppsledningssystem (Olsson et al., 2010), konstaterades det att Stockholms ledningsnät troligtvis kommer överbelastas mer frekvent på grund av ökad nederbörd. Trots att Göteborg är en mindre stad än Stockholm är stadsbilderna relativt lika, vilket tyder på att Göteborg kan komma att få samma typ av problem med exempelvis ökade volymer bräddat vatten. Detta överensstämmer även med resultatet i denna studie då den bräddade vattenvolymen, utan implementering av regnvattentunnor, ökade med nästan 75 % mellan år 2014 och år 2050.

Då regnvattentunnornas påverkan på bräddningar i området jämfördes för år 2014 och år 2050, visade det sig att tunnornas effekt i framtiden var betydligt lägre. År 2014 minskade bräddningarna med 70 % då regnvattentunnorna användes, medan bräddningarna endast minskade med 15 % år 2050. Detta tyder följaktligen på att om regnvattentunnor skulle

användas år 2050, i syfte att påverka bräddningarna i området, bör dimensionerna på tunnan vara annorlunda.

### 5.3 Rimlighetsanalys av regnvattentunnornas påverkan på Ryaverket

Beräkningarna på hur flödestopparna på Ryaverket skulle påverkas om regnvattentunnor implementerades i Göteborgs villaområden gjordes med flera antaganden. Exempelvis antogs det att allt vatten som tillvaratas av tunnorna annars skulle nått Ryaverket. Det stämmer dock antagligen inte med verkligheten eftersom en del vatten kan läcka ut från ledningarna genom läckage eller bräddas vid olika bräddpunkter längs med vägen till Ryaverket.

Regnvattentunnorna kan, enligt simuleringarna i MU, minska lokala bräddningar. Simuleringarna visade dock att flödet från studieområdet till Ryaverket i princip är opåverkat. Eftersom det i MU endast finns resultat från studieområdet, angående regnvattentunnornas effekt på flödet, är det svårt att uppskatta hur tunnor i andra områden skulle påverka flödet till Ryaverket. Om simuleringarna i studieområdet dock antas vara representativa för hela Göteborg innebär det att den totala påverkan på Ryaverket skulle bli så gott som obefintlig. Det skulle således kunna betyda att regnvattentunnorna enbart verkar på lokala bräddningar i Göteborg.

En annan felkälla i beräkningarna är att uppskattningen över antalet villor som var relevanta för studien gjorts från satellitbilder. Enligt den uppskattningen skulle tunnorna kunna installeras på cirka 7500 villor i Göteborg, men enligt data från Kretslopp och Vatten finns det knappt 9000 villor vars dagvatten är inkopplat till det kombinerade systemet (personlig kommunikation Jenny Lindh, 2016-05-02). Det är alltså ett något större antal än vad denna rapport utgått ifrån. Dock är sannolikheten låg att de utpekade områdena skulle ha en hundraprocentig implementeringsgrad. Exempelvis visade *The Wingham rain barell study* att endast 50 % av de utdelade regnvattentunnorna faktiskt användes, resterande tunnor blev stående utan att användas (Insurance Bureau of Canada. 2011).

Med hänsyn till både simuleringarna i studieområdet och överslagsberäkningarna av fler villaområden kan rapportens resultat bedömas som en överskattning. Detta beror främst på att bräddningarna i ledningsnätet är borträknade och enligt modelleringen av studieområdet skulle dessa i högsta grad påverka. Även om rapporten underdriver antalet villor kopplade till det kombinerade systemet tas den effekten sannolikt bort av att implementeringsgraden antas vara markant lägre än 100 %, vilket skulle betyda att den reella påverkan på flödet till Ryaverket kan antas vara minimal.

### 5.4 Regnvattentunnorna kostnadseffektivitet

Resultatet i kapitel 4.4 visar att värderingstalet för regnvattentunnor är omkring 3 kronor per bortledd kubikmeter dagvatten. Det är ett betydligt lägre värderingstal jämfört med 15-20 kr/m$^3$ för att bygga om hela ledningsnätet till ett separerat system, vilket indikerar att regnvattentunnor skulle vara en kostnadseffektiv lösning för Göteborgs stad. Något som dock bör tas i beaktande är att indata till värderingstalsekvationen kan ha vissa brister. Exempelvis är investeringskostnaden endast en ingenjörsmässig uppskattning och vid ett reellt inköp kan kostnaden komma att bli en annan. Om det exempelvis visar sig att installationen är mer komplicerad än vad som antagits och kostnaden för det blir dubbelt så dyr, kan det innebära en höjning av värderingstalet till nästan 5 kr/m$^3$ Skulle däremot installationen visa sig enklare än vad som antagits så villaägare själva kan utföra den, skulle installationskostnaden därigenom försvinna och värderingstalet bli knappt 2 kr/m$^3$.

Även när resultatet jämförs med kostnaden att rena en kubikmeter vatten vid Ryaverket är regnvattentunnor en kostnadseffektiv lösning. Den uppskattade kostnaden att rena en kubikmeter vatten vid högre flöden än 4 $m^3/s$ var 2009 cirka 4 kr (Nilsson & Ljunggren, 2010) och har stigit markant sedan dess (personlig kommunikation Emelie Alenius, 2016-02-15). Trots att värderingstalet för regnvattentunnor antas vara en underskattning skulle ändå dagens uppskattade kostnad för rening vid Ryaverket sannolikt vara högre. Således skulle Göteborgs stad möjligtvis kunna spara pengar, sett utifrån en tunnans livslängd, genom en investering i regnvattentunnor.

Från kapitel 2.3.2 i litteraturstudien framgår investeringskostnaderna för två andra dagvattenhanteringslösningar; rörmagasin och regnträdgårdar. Då båda dessa lösningar endast fördröjer dagvatten och inte leder bort något vatten från ledningsnätet kan inte ett värderingstal för dessa beräknas, då det är svårt att uppskatta vinsterna av en fördröjning.

Om regnvattentunnorna istället räknas som ett fördröjningsmagasin och investeringskostnaden per kubikmeter beräknas, ligger tunnorna ungefär i paritet med rörmagasin. Regnvattentunnorna skulle nämligen kosta mellan 2700 - 4600 kronor per kubikmeter, beroende på tunnans storlek. Då är det lägre priset beräknat för tunnor på 400 liter medan det högre priset gäller för tunnor på 200 liter. Det ska dock tilläggas att ett rörmagasin har upp till 10 gånger längre livslängd vilket gör att rörmagasin investeringsmässigt är betydligt billigare än regnvattentunnor sett över en lång tid.

Utifrån samma beräkningssätt av regnvattentunnor som ett fördröjningsmagasin kan en jämförelse även göras med regnträdgårdar. Storleken av en regnträdgård bör vara 4-5 % av arean av det avrinningsområde den är kopplad till (Göteborgs Stad, 2016d). Det innebär att investeringskostnaden för en regnträdgård, i anslutning till en medeltakarea per stuprör, skulle bli mellan 6000 - 11 000 kronor. Det kan jämföras med att en regnvattentunna sannolikt skulle kosta runt 1000 kronor att installera. Det innebär att trots att regnträdgårdar har ungefär dubbel så lång livslängd som regnvattentunnor, skulle regnvattentunnorna ändå vara en billigare investering.

I kapitel 4.4 klargörs det även att typtunna 3, det vill säga en regnvattentunna på 200 liter, var den som hade lägst värderingstal. Den jämförelsen gjordes dock utan hänsyn till miljövinster i form av minskad mängd bräddningar. Dock visar tabell 4.5 att värderingstalet för typtunna 9, det vill säga en regnvattentunna på 400 liter, skulle minska med 11 öre om miljövinster tagits med i beräkningen. Det är möjligt att om denna beräkning utförts även för typtunna 3 och 6 skulle förändringen av värderingstalet blivit mindre, då de tunnorna sannolikt skulle ha en något mindre inverkan på bräddningarna. Det skulle i så fall innebära att skillnaden i typtunnornas värderingstal skulle bli ännu mindre.

Slutligen är det dock värt att nämna att trots att dessa miljövinster ger en relativt liten effekt på värderingstalen är det ändå viktigt att ta hänsyn till dem. Som nämnt i början av kapitel 2 har Sverige idag problem med både övergödning och algblomning i sjöar och hav. Då det endast under år 2014 kom ut 19 ton kväve och 3 ton fosfor i naturen från Göteborgs avloppsledningssystem (Göteborgs Stad, 2016c), indikerar det att en minskad bräddvolym ger mindre utsläpp av fosfor och kväve. Med andra ord kan det vara svårt att översätta värdet av minskade utsläpp till sparade pengar.

## 5.5 Förslag till eventuellt efterföljande studier

Denna rapport har givit en teoretisk uppskattning på hur regnvattentunnor skulle kunna bidra till att minska bräddningar och översvämningar i ett område samt hur de kan påverka flödet till Ryaverket. För att med större säkerhet kunna avgöra om regnvattentunnor skulle vara en

lösning på Göteborgs stads problematik med dagvattenhantering skulle fler studier behöva genomföras. Nedan följer ett antal förslag på ämnen som eventuellt efterföljande studier skulle kunna behandla:

- *Produktutveckla regnvattentunnan.* Utformningen av regnvattentunnan i denna studie är endast ett förslag som skulle kunna utvecklas. Exempelvis skulle olika material på tunnan kunna undersökas, likaså skulle designen kunna ändras för att på så sätt smälta in bättre i omgivningen.

- *Pröva att implementera regnvattentunnorna i verkligheten.* För att få konkret data på hur regnvattentunnor skulle fungera i verkligheten hade en praktisk studie i ett mindre område varit fördelaktig.

- *Undersöka vilken storlek på tak som är mest optimal.* Ta reda på vad den största respektive minsta takarea en regnvattentunna kan verka på för att vara effektiv mot bräddningar, översvämningar och gällande flödet till Ryaverket.

- *Genomföra simuleringar på fler typtunnor.* Det är inte säkert att den typtunna som valdes att använda i simuleringarna är den som skulle fungera bäst. Det hade därför varit intressant att göra simuleringar på regnvattentunnor med andra dimensioner.

- *Genomföra simuleringar på ett annat studieområde.* Då det i denna studie endast gjorts simuleringar på det begränsade studieområdet i Örgryte hade det varit intressant att undersöka ett annat område. Främst hade det varit bra att studera ett område med annorlunda markförhållanden eller med en annan typ av bebyggelse.

- *Genomföra simuleringar på flera områden samtidigt.* För att få en mer tillförlitlig bild över regnvattentunnornas påverkan på flödet till Ryaverket hade det varit intressant att koppla ihop flera modeller från olika stadsdelar. Detta är ett stort projekt, men det skulle förmodligen ge mer pålitliga resultat.

- *Undersöka i vilket typ av område tunnan skulle vara mest effektiv.* Denna studie innefattade enbart villor och mindre radhus, men det är möjligt att tunnorna skulle kunna fungera även i andra områden. Det hade därför varit intressant att undersöka exempelvis ett område med mindre flerfamiljshus.

- *Undersöka andra typer av regn och andra studieår.* Det kan vara av intresse att utföra simuleringar med olika typer av regnserier, såsom 2-, 5- och 10 årsregn, för att se hur effektiva regnvattentunnor då skulle vara. Det skulle även vara intressant att göra simuleringar över ett annat år, exempelvis år 2015 som var mer översvämningsdrabbat än år 2014 (SMHI Öppna data, 2016a).

- *Är det rimligt att tunnorna kommer kunna stå ute året om?* Det krävs mer arbete för att undersöka om en regnvattentunna kan klara av att stå ute hela året. Om det skulle visa sig att det inte är möjligt behöver nya simuleringar, utan vintermånaderna, göras.

- *Undersöka om regnvattentunnor kan ha någon negativ påverkan på miljön.* Det finns en risk att det vatten som rinner från taken innehåller föroreningar, vilka skulle kunna hamna i marken genom infiltrationen av vattnet. Eventuellt skulle ett filter eller likande kunna installeras för att undvika denna risk. Detta är dock något som skulle kunna undersökas närmare.

- *Göra en mer noggrann kostnadsanalys och se över finansieringen av regnvattentunnor*. Beräkningen av värderingstal gjordes endast genom en ingenjörsmässig uppskattning av investerings- och installationskostnaden, och skulle kunna göras mer noggrant för att ta reda på vad regnvattentunnan exakt skulle kosta. Dessutom skulle finansieringen av tunnor behöva fastställas; ska villaägarna själva stå för kostnaden eller ska Göteborgs stad göra det.

- *Undersöka intresset av att använda regnvattentunnor hos villaägare.* Det vore fördelaktigt att göra en undersökning av villaägarna för att ta reda på om det överhuvudtaget finns ett intresse att installera regnvattentunnor. I *The Wingham rain barrel study* var det nämligen endast 50 % av de utdelade regnvattentunnorna som faktiskt användes (Insurance Bureau of Canada. 2011).

## Slutsats

Denna studie redogör för hur regnvattentunnor skulle kunna avlasta avloppssystemet i Göteborg. Syftet med regnvattentunnorna är att leda bort dagvatten från hustak, främst i villaområden, för att på så sätt minska flödet i ledningsnätet. Resultatet visar att en tunna med en volym på 400 liter och ett uttappningshål på 5 millimeter är den som kan ta tillvara på störst andel dagvattnet från ett tak.

När den regnvattentunnan användes i simuleringarna i studieområdet visar modellerings-programmet att bräddningarna i området skulle minska markant, med uppemot 70 %. Samma simulering visar dock att flödet från studieområdet till Ryaverket skulle vara i stort sett samma med och utan användningen av regnvattentunnor. Om regnvattentunnorna skulle implementeras i fler villaområden i Göteborg visar däremot beräkningarna att tunnorna skulle kunna ha en viss, om än liten, effekt på flödestopparna på Ryaverket. I de beräkningarna ingår det dock flera antaganden som tyder på att resultatet är överskattat och bör ses med viss försiktighet.

Att regnvattentunnor är en simpel lösning, jämfört med större projekt som exempelvis att investera i fördröjningsmagasin under jord eller separera delar av ledningsnätet, gör att lösningen kan ses som relativt billig. Beräkningarna på en tunnas värderingstal indikerar detta, då det visar att kostnaden per bortledd kubikmeter vatten skulle vara runt 3 kronor. Dessa beräkningar visar även att en tunna på 200 liter har ett något lägre värderingstal än de på 300 och 400 liter, vilket skulle kunna betyda att 200-literstunnan är mest fördelaktig ur ett kostnadsperspektiv.

Framtidssimuleringarna visar att tunnornas effektivitet minskar kraftigt då ett prognostiserat regn för år 2050 användes i modellen. 2014 kunde nämligen regnvattentunnorna reducera den bräddade vattenvolymen i studieområdet med 70 % medan endast 15 % av bräddningarna kunde minskas 35 år senare. Det är dock inte omöjligt att regnvattentunnor trots detta ändå skulle vara effektiva år 2050, så länge som dimensionerna av tunnan modifieras. Då det i framtiden förespås mer nederbörd och kraftigare skyfall är det av stort intresse att se över alla potentiella dagvattenhanteringslösningar. Regnvattentunnor bör således inte uteslutas som en lösning för framtiden.

Med studiens samtliga resultat summerade är slutsatsen att regnvattentunnor mycket väl skulle kunna vara en lösning på Göteborgs problematik med dagvattenhantering, men det krävs ytterligare studier för att kunna fastställa deras potentiella effekt.

## Källförteckning


Butler, B. & Davies, J. W. (2011). *Urban Drainage.* Oxon: Spon Press.

Förvaltningen Kretslopp och Vatten. (2016). *Vatten-, avlopps- och avfallshistorik.* Hämtat från http://goteborg.se/wps/portal/enheter/fackforvaltning/kretslopp-och-vatten/om%20kretslopp%20och%20vatten/art_vatten_avlopps_och_avfallshistorik/

Google (Kartograf). (2016a). Google Maps [Digital karta]. Hämtat från https://www.google.se/maps/@57.6892654,12.0113912,16.33z

Google (Kartograf). (2016b). Google Maps [Digital karta]. Hämtat från https://www.google.se/maps/@57.705663,11.9686991,9658m/data=!3m1!1e3

Granngården. (2016a). *Vattenslag Gardena Classic 30m*. Hämtat från http://www.granngarden.se/Gardena/Vattenslang-Gardena-Classic%2C-30-m-1-2%26quot%3B/p/1220407_BASE

Granngården. (2016b). *Avtappningkran Grouw*. Hämtat från http://www.granngarden.se/Grouw/Avtappningskran-Grouw/p/1166958

Gryaab. (2016). *Mijlörapport Ryaverket 2015*, (Gryaab rapport 2016:1). Hämtat från http://www.gryaab.se/admin/bildbank/uploads/Dokument/Gryaab_rapport_2016_1.pdf

Göteborg Energi. (2016). *Solkartan*. Hämtat från http://www.goteborgenergi.se/Privat/Projekt_och_etableringar/Fornybar_energi/Solceller/Solkartan

Göteborg vatten, Kretsloppskontoret & Gryaab. (2007). *Systemstudie Avlopp - En studie av framtida hållbara system för hantering av avlopp och bioavfall i Göteborgsregionen*. Hämtat från http://www17.goteborg.se/kretslopp/BinaryLoader.aspx?ObjectID=578&PropertyName=FileList&PropertyValueIndex=3&CollID=File

Göteborgs Stad. (2016a). *Om dagvatten*. Hämtat från http://goteborg.se/wps/portal/invanare/bygga-o-bo/vatten-och-avlopp/dagvatten/om-dagvatten

Göteborgs Stad. (2016b). *Regnrabatter*. Hämtat från http://goteborg.se/wps/portal?uri=gbglnk%3a2015512123814#htoc-5

Göteborgs Stad. (2016c). *Situationen i Göteborg*. Hämtat från http://goteborg.se/wps/portal?uri=gbglnk%3a20150331-144930#htoc-5

Göteborgs Stad. (2016d). *Grönytefaktor - vegetation och dagvatten - vad kostar det egentligen?* [opublicerat material].

Häggström, S. (2009). *Hydraulik för samhällsbyggnad.* Stockholm: Liber AB.

Insurance Bureau of Canada. (2011). *The Wingham rain barrel study*. Hämtat från http://assets.ibc.ca/Documents/Natural%20Disasters/Barrel/RainBarrelPilot-Report.pdf

Jennings, A., Adeel, A., Hopkins, A., Litofsky, A. & Wellstead, S. (2013). Rain Barrel: Urban Garden Stormwater Management Performance. *Journal of Environmental Engineering, 139*(5). doi:10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000663, 757-765

Kim, E. (2011). *Hail and Rain on Roof.* Hämtad från: https://www.flickr.com/photos/eekim/6143959455

Lantmäteriet (Kartograf). (2016). Öppen data [Digital karta]. Hämtat från https://kso.etjanster.lantmateriet.se/oppnadata.html

Litofsky, A & Jennings, A. (2014). Evaluating Rain Barrel Storm Water Management - Effectiveness across Climatography Zones of the United States. *Journal of Environmental Engineering, 140*(4). doi:10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000815, 04014009

MIKE Powered by DHI. (2016a). *LID controls in MIKE URBAN [opublicerat material]*. DHI.

MIKE Powered by DHI. (2016b). *Modelling of stormwater drainage networks and sewer collection systems [Produktblad]*. DHI. Hämtat från www.mikepoweredbydhi.com/-/media/shared%20content/mike%20by%20dhi/flyers%20and%20pdf/software%20flyers/cities/mikebydhi_productflyer_mikeurban_stormwaterandwastewater.pdf

MIKE Powered by DHI. (2016c). *MIKE URBAN: Collection system [opublicerat material]*. DHI.

MIKE Powered by DHI. (2016d). *MOUSE: Pipe flow reference manual [opublicerat material]*. DHI.

MIKE Powered by DHI. (2016e). *MIKE 1D: DHI Simulation Engine for 1D river and urban modelling reference manual [opublicerat material]*. DHI.

Naturvårdsverket & Svenskt vatten. (2013). *Formulering av villkor och krav för utsläpp från avloppsreningsverk - vägledning*. Hämtat från https://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/avlopp/villkor-och-krav-for-utslapp-fran-avloppsreningsverk-20130423.pdf

Nilsson, A. & Ljunggren,O. (2010). *Rutin värderingstal.* [opublicerat material], Göteborgs Stad, Göteborg Vatten.

Olsson, J. & Foster, K. (2013). Extrem korttidnederbörd i kilmatprojektioner i Sverige. (Klimatologi nr 6, 2013). SMHI. Hämtat från http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.29658!/Klimatologi_6.pdf

Olsson, J., Dahné, J., German, J., Westergren, B., von Scherling, M., Kjellson, L., Ohls, F. & Olsson, A. (2010). En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem. (Klimatologi nr 2, 2010). SMHI, Stockholms Vatten och Stiftelsen för Miljöstrategisk forskning, MISTRA. Hämtat från http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.14896!/Klimatologi_3.pdf

Persson, J., Karlsson, A., Jansson, K & Gustavsson, L-G. (2015). *Skyfallsmodellering för GBG.* Göteborg: SWECO, DHI, Göteborg Stad.

Philadelphia Water. (2016). *Green Stormwater Infrastructure Tools*. Hämtat från http://phillywatersheds.org/what_were_doing/green_infrastructure/tools

Ramböll. (2014a). *Dagvattenutredning för detaljplan för bostäder i Kobbegården inom stadsdelen Askim*. Hämtat från http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planobygg.nsf/vyFiler/Askim%20-%20Cirka%20290%20nya%20bost%C3%A4der%20i%20Kobbeg%C3%A5rden-Plan%20-%20granskning-Dagvattenutredning/$File/08_Dagvattenutredning_141104.pdf?OpenElement

Ramböll. (2014b). *Hydromodell för Göteborg.* Göteborg: Ramböll. Hämtat från http://goteborg.se/wps/wcm/connect/fadd8059-d2aa-4b4c-850f-dd1b4209b93d/1_Modelldokumentation_Omrade_C.pdf?MOD=AJPERES

SMHI. (2014). *Kraftig nederbörd*. Hämtat från http://www.klimatanpassning.se/hur-forandras-klimatet/nederbord/kraftig-nederbord-1.21297

SMHI. (2015a). *Vad betyder +2 C global temperaturökning för Sveriges klimat?* Hämtat från http://www.smhi.se/kunskapsbanken/vad-betyder-2-c-global-temperaturokning-for-sveriges-klimat-1.92072

SMHI. (2015b). *Vad är isdygn och frostdygn?* Hämtat från http://www.smhi.se/kunskapsbanken/vad-ar-isdygn-och-frostdygn-1.35582

SMHI. (2016). *Årsnederbörd i millimeter*. Hämtat från http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/kartor/monYrTable.php?par=nbdYr&month=13

SMHI Öppna data. (2016a). *Nederbördsmängd Göteborg A*. Hämtat från http://opendata-download-metobs.smhi.se/api/version/latest/parameter/14/station/71420.atom

SMHI Öppna data. (2016b). *Metrologiska observationer*. Hämtat från http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/

Svenskt Vatten. (2011). *Hållbar dag- och dränvattenhantering: Råd vid planering och utformning (P105).* Stockholm: Svenskt Vatten.

Svenskt Vatten. (2016). *Vattenutmaningar*. Hämtat från http://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/vattenutmaningar

Sveriges geologiska undersökning (Kartograf). (2016). Kartgenerator [Elektronisk jordartskarta]. Hämtat från http://apps.sgu.se/kartgenerator/maporder_sv.html

Tegelberg, L. & Svensson, G. (2013). Utvärdering av Svenskat Vattens rekomenderade samanvägda avrinningskoefficienter. (Rapport Nr 2013). Hämtat från http://www.urbanwater.se/sites/default/files/filer/svu-rapport_2013-05.pdf

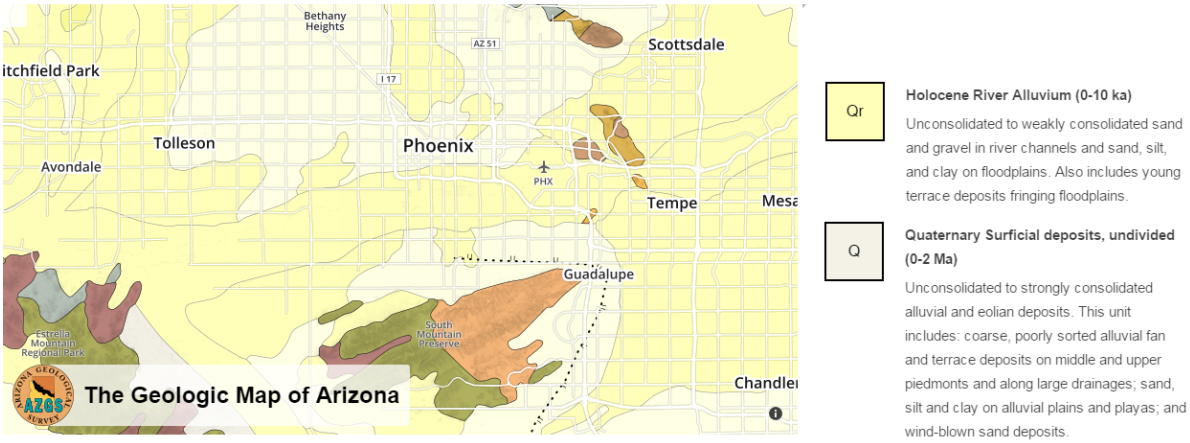
The Arizona Geological Survey (Kartograf). (2015). *Geologic Map of Arizona*, [Elektronisk jordartskarta]. Hämtat från http://data.azgs.az.gov/geologic-map-of-arizona/#

Uponor. (2016). *Infiltrationsrör*. Hämtat från https://www.uponor.se/infra/v%C3%A5ra-l%C3%B6sningar/dagvatten/infiltration/infiltrationsr%C3%B6r.aspx

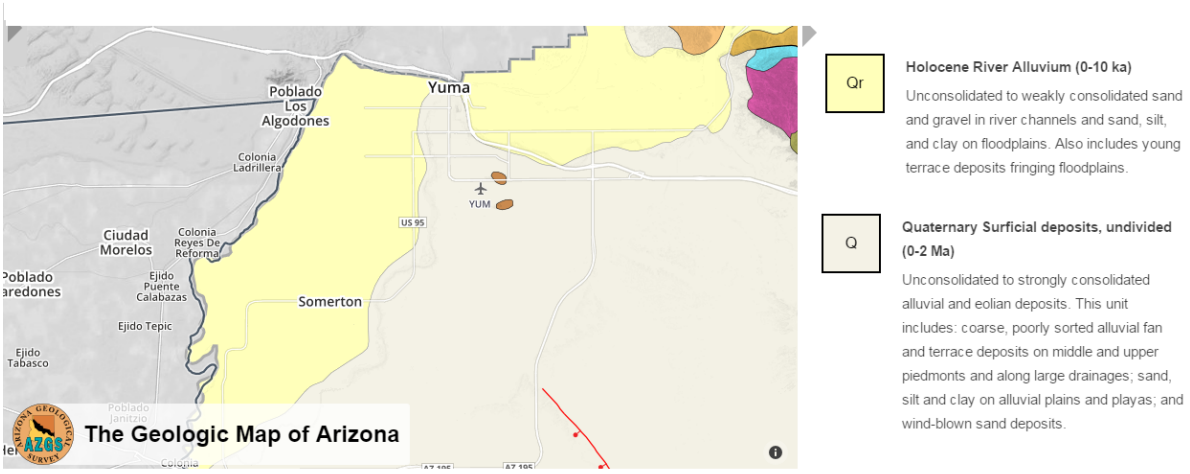
Västvatten. (2016). *Viktigt att veta om källaröversvämningar*. Hämtat från http://vastvatten.se/download/18.18ef64cd1529b01d79d7d84/1454591313631/Viktigt+att+veta+om+k%C3%A4llar%C3%B6versv%C3%A4mningar+V%C3%A4stvatten+2016.pdf

# Bilagor

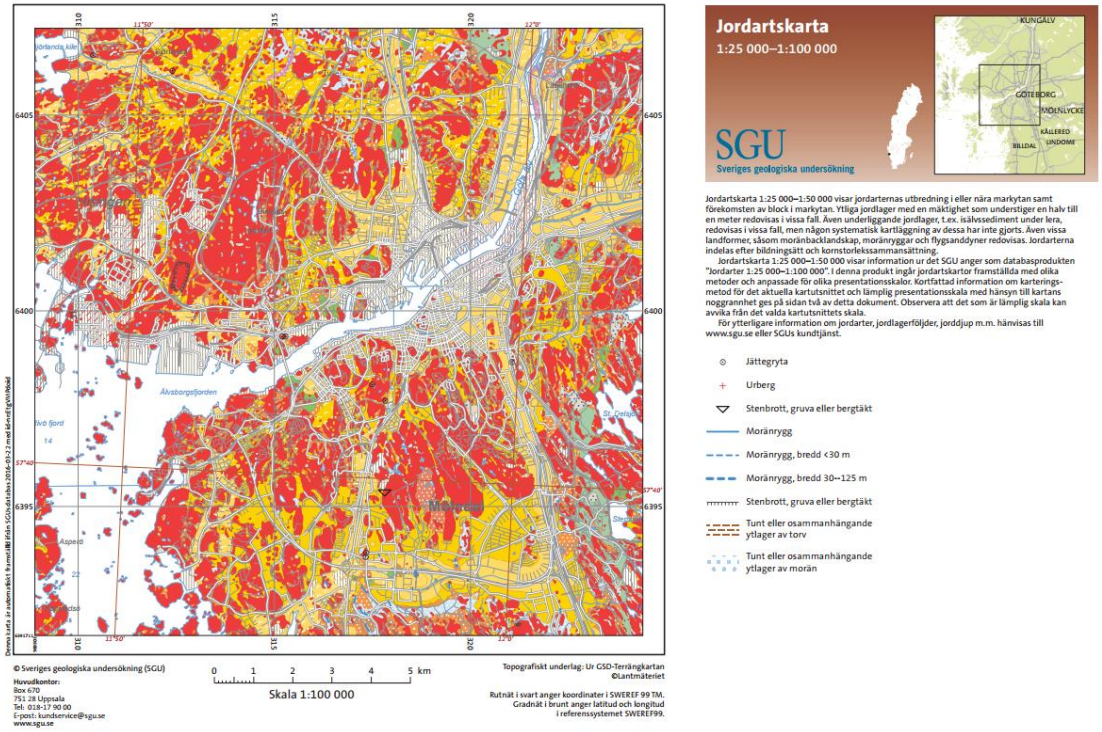
## Bilaga A Jordartskartor



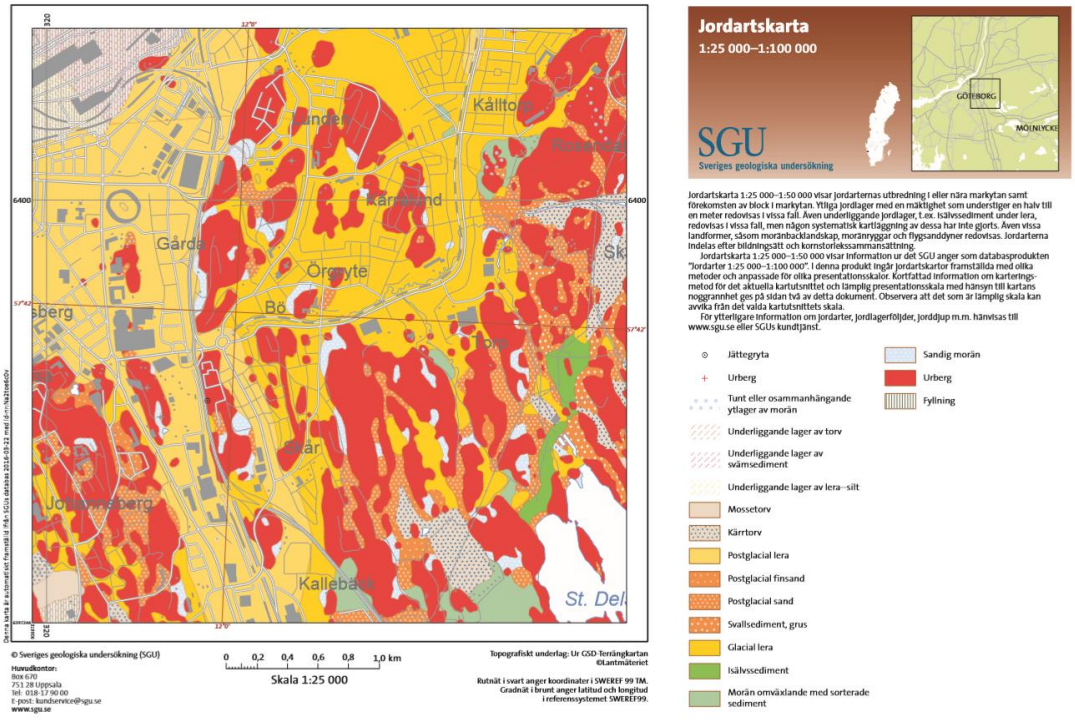

*Figur A.1. Jordartskarta över Phoenix. (The Arizona Geological Survey, 2015). Frågat om tillstånd.*




*Figur A.2. Jordartskarta över Yuma. (The Arizona Geological Survey, 2015). Frågat om tillstånd.*




*Figur A.3. Jordartskarta över hela Göteborg. Rött symboliserar urberg och gult lera.(Sveriges geologiska undersökning, 2016). Återgiven med tillstånd.*




*Figur A.4. Jordartskarta över Örgryte och områdena runt omkring. Rött symboliserar urberg och gult lera. (Sveriges geologiska undersökning, 2016). Återgiven med tillstånd.*

## Bilaga B Energiekvationen

Energiekvationen i sin grundform

$$z = \frac{U_{slang}{}^2}{2*g} + k_i * \frac{U_{hål}^2}{2*g} + k_r \frac{U_{hål}^2}{2*g} + k_u * \frac{U_{slang}^2}{2*g} + k_f \frac{U_{slang}^2}{2*g} \qquad (6)$$

Utveckling av ekvationen

$$Z = \frac{U_{slang}^2}{2*g}\left(k_i * \left(\frac{A_{slang}}{A_{hål}}\right)^2 + k_u + f * \frac{L}{D}\right) \qquad (7)$$

där

| | |
|---|---|
| $z$ | Vattennivån i tunna [m] |
| $U_{slang}$ | Hastighet ut ur uttappningsslang [m/s] |
| $U_{hål}$ | Hastighet ut ur uttappningshål [m/s] |
| $g$ | Gravitationskoefficienten [m/s$^2$] |
| $k_i$ | Faktor för inströmningsförlust [-] |
| $k_u$ | Faktor för utströmningsförlust [-] |
| $k_r$ | Faktor för retardationsförlust [-] |
| $f$ | Friktionskoefficient enligt Moodys diagram [-] |
| $L$ | Längd på uttappningsslang[m] |
| $D$ | Diameter på slang [m] |
| $A_{slang}$ | Tvärsnittsarea för uttappningsslang [m$^2$] |
| $A_{hål}$ | Tvärsnittsarea för uttappningshål [m$^2$] |

## Bilaga C MATLAB-kod

### C1 Dimensionering av regnvattentunnan


Programbeskrivning ..... iv
Import the data, regn 2014 ..... iv
Replace date strings by MATLAB serial date numbers (datenum) ..... iv
Replace non-numeric cells with NaN ..... v
Create output variable ..... v
Clear temporary variables ..... v
Randvillkor ..... v
Olika dimmensioner på regnvattentunnor ..... v
Plottningsverkyg ..... vi
Beräkningsgång av dagvattnets flödesvariationer i en tunna ..... vii
Redovisning av data ..... viii


```
%-----------------------------------------------------------------------
clear all;
close all;
clc;
%-----------------------------------------------------------------------
```

### Programbeskrivning

Programmet beräknar vattennivån i en regnvattentunna över ett tidsintervall med given regn intensitet. Regnintensiteten för ett år hämtas från SMHI och laddas sedan upp till programmet med nedanstående script Regn2014.m.

```
%-----------------------------------------------------------------------
```

### Import the data, regn 2014

```
[~, ~, raw, dateNums] = xlsread('\\file00.chalmers.se\home\vican\.win\My
Documents\Kandidatarbete\Regn 2014
SMHI.xlsx','Sheet1','C1:C29146','',@convertSpreadsheetDates);
raw(cellfun(@(x) ~isempty(x) && isnumeric(x) && isnan(x),raw)) = {''};
```

### Replace date strings by MATLAB serial date numbers (datenum)

```
R = ~cellfun(@isequalwithequalnans,dateNums,raw) & cellfun('isclass',raw,'char'); % Find
spreadsheet dates
raw(R) = dateNums(R);
```

## Replace non-numeric cells with NaN

```
R = cellfun(@(x) ~isnumeric(x) && ~islogical(x),raw); % Find non-numeric cells
raw(R) = {NaN}; % Replace non-numeric cells
```

## Create output variable

```
mms = reshape([raw{:}],size(raw));
```

## Clear temporary variables

```
clearvars raw dateNums R;
```

## Randvillkor

```
ku=1;                           % utströmningskoefficient [-]
ki=0.75;                        % inströmningskoefficient [-]
g=9.81;                         % tyngdaccelerationen [m/s^2]
fi=0.9;                         % Avrinningskoeff [-]
Atak=59;                        % Avrinningsarea (takarea) [m^2]
i=mms/(15*60*1000);             % regnintensitet [m/s]
L=2.5;                          % Utloppsslangens längd [m]
```

## Olika dimmensioner på regnvattentunnor

```
% Tunna 200 L, uttappningshål 1 mm,(The Wingham rain barell study)
% d=0.001;                      % uttapningshålets diameter [m]
% Ad=d^2*pi/4;                  % uttapningshålets area [m^2]
% dt=0.53;                      % Tunnans diameter [m]
% ht=0.95;                      % Tunnans höjd [m]
% At=pi*dt^2/4;                 % Tunnans bottenarea [m^2]
% H=zeros(length(i)*15+1,1);    % Beräknar vattennivån i tunnan [m]
% V=At*ht; typ=1;               % Tunnans volym [m^3]
%-----------------------------------------------------------------------
% %Tunna 200 L, uttappningshål 3 mm
% d=0.003;                      % uttapningshålets diameter [m]
% Ad=d^2*pi/4;                  % uttapningshålets area [m^2]
% dt=0.53;                      % Tunnans diameter [m]
% ht=0.95;                      % Tunnans höjd [m]
% At=pi*dt^2/4;                 % Tunnans bottenarea [m^2]
% H=zeros(length(i)*15+1,1);    % Beräknar vattennivån i tunnan [m]
% V=At*ht; typ=2;               % Tunnans volym [m^3]
%-----------------------------------------------------------------------
% % Tunna 200 L, uttappningshål 5 mm
% d=0.005;                      % uttapningshålets diameter [m]
% Ad=d^2*pi/4;                  % uttapningshålets area [m^2]
% dt=0.53;                      % Tunnans diameter [m]
% ht=0.95;                      % Tunnans höjd [m]
% At=pi*dt^2/4;                 % Tunnans bottenarea [m^2]
% H=zeros(length(i)*15+1,1);    % Beräknar vattennivån i tunnan [m]
% V=At*ht; typ=3;               % Tunnans volym [m^3]
%-----------------------------------------------------------------------
% %Tunna 300 L, uttappningshål 1 mm.
% d=0.001;                      % uttapningshålets diameter [m]
% Ad=d^2*pi/4;                  % uttapningshålets area [m^2]
```

```
% dt=0.62;                          % Tunnans diameter [m]
% ht=1;                              % Tunnans höjd [m]
% At=pi*dt^2/4;                      % Tunnans bottenarea [m^2]
% H=zeros(length(i)*15+1,1);         % Beräknar vattennivån i tunnan [m]
% V=At*ht;    typ=4;                 % Tunnans volym [m^3]
%-------------------------------------------------------------------------
% % Tunna 300 L, uttappningshål 3 mm.
% d=0.003;                           % uttapningshålets diameter [m]
% Ad=d^2*pi/4;                       % uttapningshålets area [m^2]
% dt=0.62;                           % Tunnans diameter [m]
% ht=1;                              % Tunnans höjd [m]
% At=pi*dt^2/4;                      % Tunnans bottenarea [m^2]
% H=zeros(length(i)*15+1,1);         % Beräknar vattennivån i tunnan [m]
% V=At*ht;   typ=5;                  % Tunnans volym [m^3]
%-------------------------------------------------------------------------
% % Tunna 300 L, uttappningshål 5 mm.
% d=0.005;                           % uttapningshålets diameter [m]
% Ad=d^2*pi/4;                       % uttapningshålets area [m^2]
% dt=0.62;                           % Tunnans diameter [m]
% ht=1;                              % Tunnans höjd [m]
% At=pi*dt^2/4;                      % Tunnans bottenarea [m^2]
% H=zeros(length(i)*15+1,1);         % Beräknar vattennivån i tunnan [m]
% V=At*ht;   typ=6;                  % Tunnans volym [m^3]
%-------------------------------------------------------------------------
% Tunna 400 L, uttappningshål 1 mm.
% d=0.001;                           % uttapningshålets diameter [m]
% Ad=d^2*pi/4;                       % uttapningshålets area [m^2]
% dt=0.62;                           % Tunnans diameter [m]
% ht=1.35;                           % Tunnans höjd [m]
% At=pi*dt^2/4;                      % Tunnans bottenarea [m^2]
% H=zeros(length(i)*15+1,1);         % Beräknar vattennivån i tunnan [m]
% V=At*ht;  typ=7;                   % Tunnans volym [m^3]
%-------------------------------------------------------------------------
% Tunna 400 L, uttappningshål 3 mm.
% d=0.003;                           % uttapningshålets diameter [m]
% Ad=d^2*pi/4;                       % uttapningshålets area [m^2]
% dt=0.62;                           % Tunnans diameter [m]
% ht=1.35;                           % Tunnans höjd [m]
% At=pi*dt^2/4;                      % Tunnans bottenarea [m^2]
% H=zeros(length(i)*15+1,1);         % Beräknar vattennivån i tunnan [m]
% V=At*ht;   typ=8;                  % Tunnans volym [m^3]
%-------------------------------------------------------------------------
% Tunna 400 L, uttappningshål 5 mm.
d=0.005;                             % uttapningshålets diameter [m]
Ad=d^2*pi/4;                         % uttapningshålets area [m^2]
dt=0.62;                             % Tunnans diameter [m]
ht=1.35;                             % Tunnans höjd [m]
At=pi*dt^2/4;                        % Tunnans bottenarea [m^2]
H=zeros(length(i)*15+1,1);           % Beräknar vattennivån i tunnan [m]
V=At*ht;  typ=9;                     % Tunnans volym [m^3]
```

## Plottningsverkyg

```
m=linspace(0,12,length(i)*15+1);% Skapar vektor för plottning av månader
b=zeros(length(i)*15+1,1);      % Bräddningsvolym
k=0;                            % Startvärden på
```

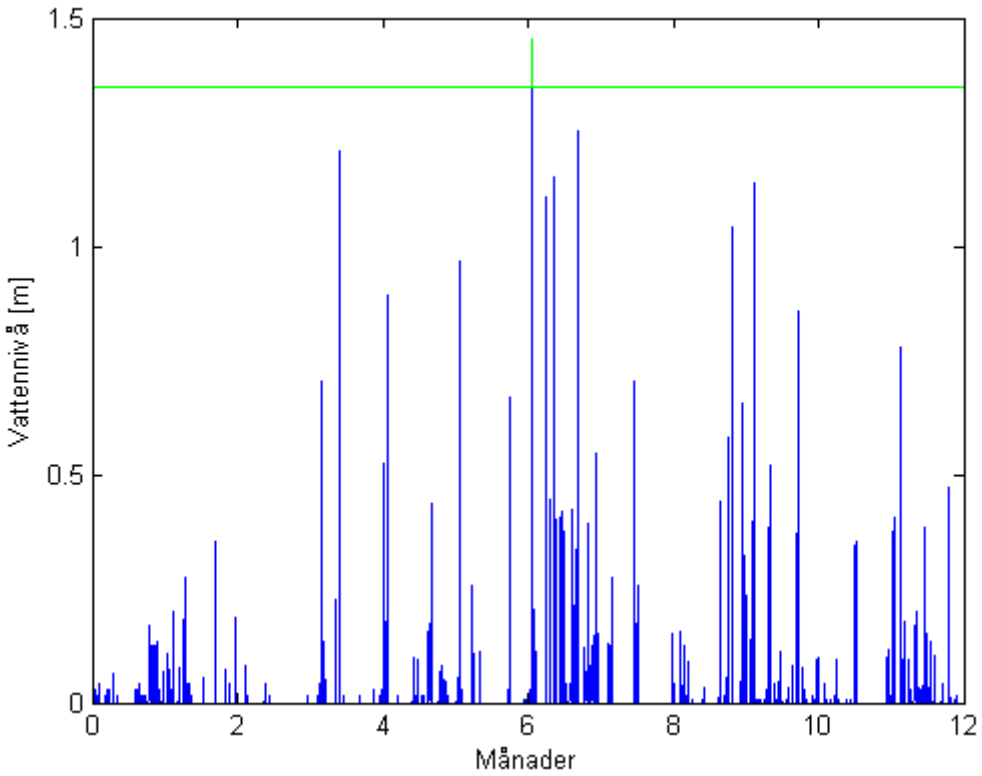
```
qin=zeros(length(i)*15+1,1);    % Allokerar utrymme till värden på inflödet
qut=zeros(length(i)*15+1,1);    % Allokerar utrymme till värden på utflödet
```

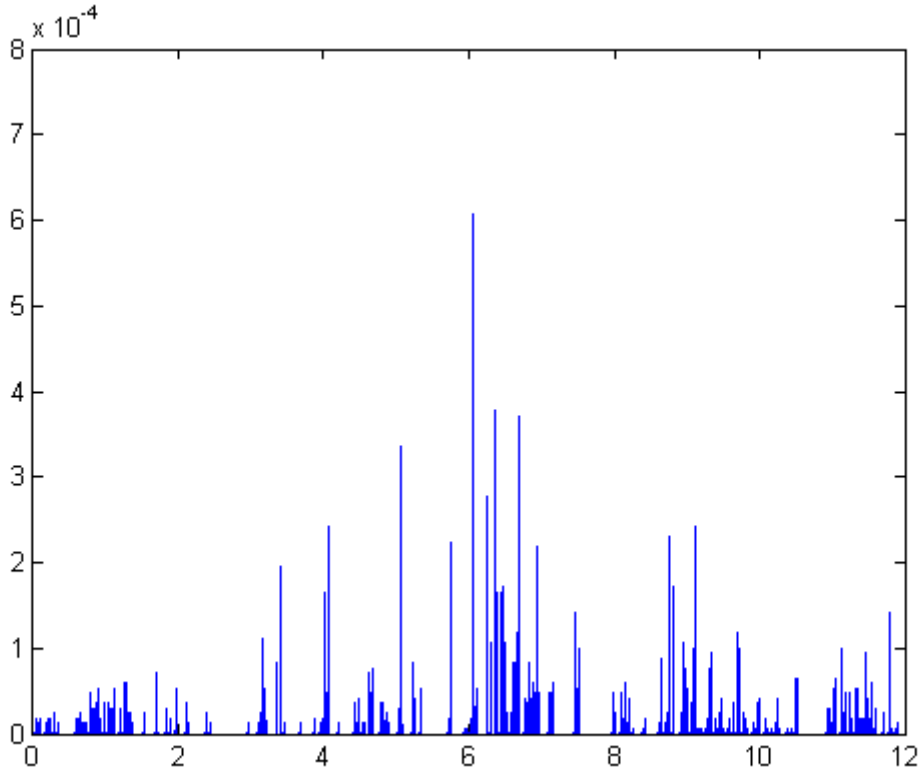
## Beräkningsgång av dagvattnets flödesvariationer i en tunna

```
% Olika värden på retardationsförlusten (retardationskoefficient [-])
% vid olika dimensioner på dräneringshålet

if d==0.001;
    kr=0.58;        % Beräknat enligt s 98 i hudrualik för samhällsbyggare
elseif d==0.003;    % (Häggström, 2009)
    kr=0.55;        % Beräknat enligt s 98 i hudrualik för samhällsbyggare
elseif d==0.005;    % (Häggström, 2009)
    kr=0.5;         % Beräknat enligt s 98 i hudrualik för samhällsbyggare
end                 % (Häggström, 2009)
dsl=0.013;          % Dimension på slang
As=dsl^2*pi/4;      % Area slang
Akvot =(As/Ad)^2;   % Förhållandet mellan slangens och uttapningshålets
                    % area i kvadrat
v=1.308*10^-6;      % Viskositeten för vatten 10 grader C
K=(1+ki*Akvot+ku+kr*Akvot); % Total faktor för förluster
f= 0.0345;          % Friktionskoeff

for t=1:length(i);
    Qin=fi*Atak*i(t);                         % Inflödet, rationella
                                              % metoden [m^3/s]
    for a=1:15                                % 15 mintuters perioder

        Qut=(sqrt((H((t-1)*15+a)*2*g)/(K+f*L/dsl)))*As; % Utflödet [m^3/s]

        ds=(Qin-Qut)*60;                      % Kubikmeter över en minut
        dH=ds/At;                             % Höjdförändringen
        H((t-1)*15+a+1)=H((t-1)*15+a)+dH;     % Den nya höjden
        qin((t-1)*15+a)=Qin;                  % Skapar vektor av inflödet
                                              % till tunnan [l/s]
        qut((t-1)*15+a)=Qut;                  % Skapar vektor av utflödet
                                              % ur tunnan [l/s]
        if H((t-1)*15+a+1)>ht                 % Om tunnan är full
                                              % bräddas höjdöverskottet
            b((t-1)*15+a+1)=H((t-1)*15+a+1)-ht;% Bräddningshöjd
            H((t-1)*15+a+1)=ht;               % Sätter vattennivån
                                              % till tunnhöjden
            k=k+1;                            % Antal minuter bräddning
                                              % sker i tunnan

        end
        if H((t-1)*15+a+1)<0                  % Om vattennivån är negativ
            H((t-1)*15+a+1)=0;                % Sätt vattenivån i tunnan
                                              % till 0
        end
    end
end
```

## Redovisning av data

```
f1 = figure;
set(f1,'name','Vattennivå under 2014','numbertitle','off');
stairs(m,H,'b');                    % Plottar vattennivån i tunnan
hold on
stairs([0 12] ,[ht ht] ,'g');       % Plottar bräddgränsen
stairs(m,b+ht, 'g');
axis ([0 12 0 1.5]);                % Axelbegränsningar
xlabel ('Månader')                  % Namn på X-axel
ylabel ('Vattennivå [m]')           % Namn på Y-axel
hold off
f2 = figure;
set(f2,'name','In- och utflöde under 2014','numbertitle','off');
plot(m,qin);                         % Plottar inflödet till tunnan
hold on
plot(m,qut);                         % Plottar flödet ut från tunnan
antal=k;                             % Antal översvämningsminuter per år
Totaltid=24*60*365;                  % Antal minuter per år
OversvamningsV=sum(b)*At;            % Översvämmadvolym från tunnan [m^3]
TotV=sum(qin)*60;                    % Totalvolym in i tunnan [m^3]
TillV=TotV-OversvamningsV;           % Tillvaratagenvolym  [m^3]
AndelO=OversvamningsV/TotV*100;      % Andelvolym som bräddar [%]
maxinflode=max(qin)*1000;            % Maxinflöde [l/s]
maxutflode=max(qut)*1000;            % Maxutflöde [l/s]
deltaflode=maxinflode-maxutflode;    % Skillnad maxin & maxutflöde
AndeltillVm=TillV/TotV*100;          % Andeltillvaratagenvolym
Regnhojd=TotV/(fi*Atak)*1000;        % Regnhöjd[mm]
R=sum(mms);                          % För att se om indata = regnhöjd
```






*Published with MATLAB® R2013b*

**C2 Beräkningar på Ryaverket**

Programbeskrivning ..... x
Import data from spreadsheet ..... x
Hämtar data för flöde till Ryaverket ..... x
Replace non-numeric cells with NaN ..... xi
Create output variable ..... xi
Clear temporary variables ..... xi
Hämtar regnserie ..... xi
Import the data ..... xi
Replace non-numeric cells with NaN ..... xi
Create output variable ..... xi
Clear temporary variables ..... xi
Konstanter ..... xi
Programbeskrivning
Randvillkor ..... xi

Dimensioneringsvärden ..... xi
Flödesparametrar ..... xii
Beräkningsgång av dagvattnets flödesvariationer i en tunna ..... xii
Beräknar nytt flöde till Ryaverket m.h.a rinntider beroende på flödet ..... xiii
Uträkning av nytt flöde i Ryaverket med påverkan från Örgryte ..... xiii
Uträkning av nytt flöde i Ryaverket med påverkan från Utby ..... xiv
Uträkning av nytt flöde i Ryaverket med påverkan från Kålltorp ..... xiv
Uträkning av nytt flöde i Ryaverket med påverkan från Krokslätt,Johanneberg och Guldheden ..... xiv
Uträkning av nytt flöde i Ryaverket med påverkan från Kungsladugård ..... xiv
Uträkning av nytt flöde i Ryaverket med påverkan från Lundby,Tolered och Kärrdalen ..... xiv
Uträkning av nytt flöde i Ryaverket med påverkan från Kyrkbyn, Bräcke och Lundby ..... xiv

```
%-----------------------------------------------------------------------
clear all
close all
clc
%-----------------------------------------------------------------------
```

## Programbeskrivning

Programmet beräknar flödet till Ryaverketunder 2014 med regnvattentunnor utplacerade i områden med kombinerat system i Göteborg. Nya flöden till Ryaverket beräknas med hjälp av olika rinntider för områdena.

Flödesdata till Ryaverket har getts av Gryaab och laddas sedan in till programmet med nedanstående script: Flöde Ryaverket 2014

Regnintensiteten för ett år hämtas från SMHI och laddas sedan upp till programmet med nedanstående script: Regn2014.m.

```
%-----------------------------------------------------------------------
```

## Import data from spreadsheet

Script for importing data from the following spreadsheet:

Workbook: C:\MikeUrban\Ryaverket.xlsx Worksheet: Flöde Ryaverket 2014

## Hämtar data för flöde till Ryaverket

```
[~, ~, raw] = xlsread('C:\MikeUrban\Ryaverket.xlsx','Flöde Ryaverket 2014','B2:B34055');
raw(cellfun(@(x) ~isempty(x) && isnumeric(x) && isnan(x),raw)) = {''};
```

### Replace non-numeric cells with NaN

```
R = cellfun(@(x) ~isnumeric(x) && ~islogical(x),raw); % Find non-numeric cells
raw(R) = {NaN}; % Replace non-numeric cells
```

### Create output variable

```
Qrya = reshape([raw{:}],size(raw));
```

### Clear temporary variables

```
clearvars raw R;
```

### Hämtar regnserie

Script for importing data from the following spreadsheet:

Workbook: C:\MikeUrban\Ryaverket.xlsx Worksheet: Regn 2014

### Import the data

```
[~, ~, raw] = xlsread('C:\MikeUrban\Ryaverket.xlsx','Regn 2014','B1:B33859');
raw(cellfun(@(x) ~isempty(x) && isnumeric(x) && isnan(x),raw)) = {''};
```

### Replace non-numeric cells with NaN

```
T = cellfun(@(x) ~isnumeric(x) && ~islogical(x),raw);% Find non-numeric cells
raw(T) = {NaN}; % Replace non-numeric cells
```

### Create output variable

```
r = reshape([raw{:}],size(raw));
```

### Clear temporary variables

```
clearvars raw T;
```

### Konstanter

```
At=140;     % Takarea för ett genomsnittligt hus [m^2]
```

### Randvillkor

```
kr=0.50;                        % Beräknat enligt s 98 i hudrualik
                                % för samhällsbyggare,(Häggström, 2009)
ku=1;                           % Utströmningskoefficient [-]
ki=0.75;                        % Inströmningskoefficient [-]
g=9.81;                         % Tyngdaccelerationen [m/s^2]
fi=0.9;                         % Avrinningskoeff
```

### Dimensioneringsvärden

```
Atak=59;                        % Avrinningsarea (takarea) [m^2]
dsl=0.005;                      % Uttapningshålets diameter [m]
Ad=dsl^2*pi/4;                  % Uttapningshålets area [m^2]
dt=0.62;                        % Tunnans diameter [m]
ht=1.35;                        % Tunnans höjd [m]
Atu=pi*dt^2/4;                  % Tunnans bottenarea [m^2]
```

## Flödesparametrar

```
i=r/(15*60*1000);               % Regn [m/s]
H=zeros(length(r)*15+1,1);      % Beräknar vattennivån i tunnan [m]
Qbq=zeros(length(r),1);         % Skapar vektor för översvämmningsflödet
                                % i en tunna
Qq=zeros(length(r),1);          % Skapar vektor för inflödet i tunnan
b=zeros(length(r)*15+1,1);      % Total översvämmad volym [m^3]
qin=zeros(length(r)*15+1,1);    % Allokerar utrymme till värden på inflödet
qut=zeros(length(r)*15+1,1);    % Allokerar utrymme till värden på utflödet
```

## Beräkningsgång av dagvattnets flödesvariationer i en tunna

```
dsl=0.013;                      % Dimension på slang [m]
f= 0.0345;                      % Friktionskonstanten för slangen [-]
L=2.5;                          % Utloppsslangens längd [m]
As=dsl^2*pi/4;                  % Area slang [m^2]
Akvot =(As/Ad)^2;               % Förhållandet mellan slangens och
                                % uttappningshålets area i kvadrat [m^2]
K=(1+ki*Akvot+ku+kr*Akvot);     % Total faktor för förluster
for t=1:length(i);
    Qin=fi*Atak*i(t);           % Inflödet, rationella metoden [m^3/s]
    Qq(t)=Qin;                  % kvartsvärde på inflödet i tunnan [m^3/s]
    for a=1:15                  % 15 minuters perioder

        Qut=(sqrt((H((t-1)*15+a)*2*g)/(K+f*L/dsl)))*As; % Utflödet [m^3/s]
        ds=(Qin-Qut)*60;                        % Kubikmeter över en minut
        dH=ds/Atu;                              % Höjdförändringen
        H((t-1)*15+a+1)=H((t-1)*15+a)+dH;       % Den nya höjden
        qin((t-1)*15+a)=Qin;                    % Skapar matris med inflödet
                                                % till tunnan [m^3/s]
        qut((t-1)*15+a)=Qut;                    % Skapar matris med utflödet
                                                % ur tunnan [m^3/s]
        if H((t-1)*15+a+1)>ht                   % Om tunnan är full
                                                % bräddas höjdöverskottet
            b((t-1)*15+a+1)=H((t-1)*15+a+1)-ht;% Bräddningshöjd
            H((t-1)*15+a+1)=ht;                 % Sätter vattennivån
                                                % till tunnhöjden

            Qbq(t)=Qbq(t)+ (b((t-1)*15+a+1)*Atu)/(15*60); % kvartsvärde på
                                                          % bräddning i
                                                          % tunnan [m^3/s]
        end
        if H((t-1)*15+a+1)<0                    % Om vattennivån är negativ
            H((t-1)*15+a+1)=0;                  % Sätt vattenivån i tunnan
                                                % till 0
        end

    end
```

```
end

A=At/Atak;      % Kvoten mellan takarean för ett genomsnittligt hus och
                % genomsnittlig takarea för ett stuprör
for a=1:length(r)
```

## Beräknar nytt flöde till Ryaverket med hjälp av rinntider beroende på flödet

```
if Qrya(a)<=3       % Om flödet är mindre än 3 m^3/s gäller dessa rinntider

     torg=11.5;     % Rinntid från Örgryte [h]
     tutb=25;       % Rinntid från Utby [h]
     tkal=6;        % Rinntid från Kolltorp [h]
     tkjg=12;       % Rinntid från Krokslätt,Johanneberg och Guldheden [h]
     tkun=5;        % Rinntid från Kungsladugård [h]
     tltk=2;        % Rinntid från Lundby,Tolered och Kärrdalen [h]
     tkbl=1;        % Rinntid från Kyrkbyn, Bräcke och Lundby [h]

 elseif 3<Qrya(a) && Qrya(a)<=6 % Om flödet är mellan 3 m^3/s och 6 m^3/s
                                % gäller dessa rinntider

     torg=8.5;     % Rinntid från Örgryte [h]
     tutb=22;      % Rinntid från Utby [h]
     tkal=7;       % Rinntid från Kolltorp [h]
     tkjg=11;      % Rinntid från Krokslätt,Johanneberg och Guldheden [h]
     tkun=7;       % Rinntid från Kungsladugård [h]
     tltk=2;       % Rinntid från Lundby,Tolered och Kärrdalen [h]
     tkbl=1;       % Rinntid från Kyrkbyn, Bräcke och Lundby [h]

 elseif 6< Qrya(a) && Qrya(a) <=9% Om flödet är mellan 6 m^3/s och 9 m^3/s
                                  % gäller dessa rinntider
     torg=7.5;     % Rinntid från Örgryte [h]
     tutb=17;      % Rinntid från Utby [h]
     tkal=5;       % Rinntid från Kolltorp [h]
     tkjg=9;       % Rinntid från Krokslätt,Johanneberg och Guldheden [h]
     tkun=4;       % Rinntid från Kungsladugård [h]
     tltk=2;       % Rinntid från Lundby,Tolered och Kärrdalen [h]
     tkbl=1;       % Rinntid från Kyrkbyn, Bräcke och Lundby [h]
else                                % Om flödet är större än 9 m^3/s
                                    % gäller dessa rinntider

     torg=6.5;     % Rinntid från Örgryte [h]
     tutb=16;      % Rinntid från Utby [h]
     tkal=5;       % Rinntid från Kolltorp [h]
     tkjg=10;      % Rinntid från Krokslätt,Johanneberg och Guldheden [h]
     tkun=5;       % Rinntid från Kungsladugård [h]
     tltk=2;       % Rinntid från Lundby,Tolered och Kärrdalen [h]
     tkbl=1;       % Rinntid från Kyrkbyn, Bräcke och Lundby [h]
end
```

## Uträkning av nytt flöde i Ryaverket med påverkan från Örgryte

```
Horg=1065;  %Antal hus i Örgryte
 Qrya(a+torg*4)=Qrya(a+torg*4)-((Qq(a)-Qbq(a))*Horg*A);      % [m3/s]
```

## Uträkning av nytt flöde i Ryaverket med påverkan från Utby

```
Hutb=1000; %Antal hus i Utby
 Qrya(a+tutb*4)=Qrya(a+tutb*4)-((Qq(a)-Qbq(a))*Hutb*A);      % [m3/s]
```

## Uträkning av nytt flöde i Ryaverket med påverkan från Kålltorp

```
Hkal=1100; %Antal hus i Kålltorp
 Qrya(a+tkal*4)=Qrya(a+tkal*4)-((Qq(a)-Qbq(a))*Hkal*A);      % [m3/s]
```

## Uträkning av nytt flöde i Ryaverket med påverkan från Krokslätt, Johanneberg och Guldheden

```
Hkjg=420; % Antal hus i Krokslätt, Johannebergo och Guldheden
 Qrya(a+tkjg*4)=Qrya(a+tkjg*4)-((Qq(a)-Qbq(a))*Hkjg*A);      % [m3/s]
```

## Uträkning av nytt flöde i Ryaverket med påverkan från Kungsladugård

```
Hkun=330; %Antal hus i Kungsladugård
 Qrya(a+tkun*4)=Qrya(a+tkun*4)-((Qq(a)-Qbq(a))*Hkun*A);      % [m3/s]
```

## Uträkning av nytt flöde i Ryaverket med påverkan från Lundby, Tolered och Kärrdalen

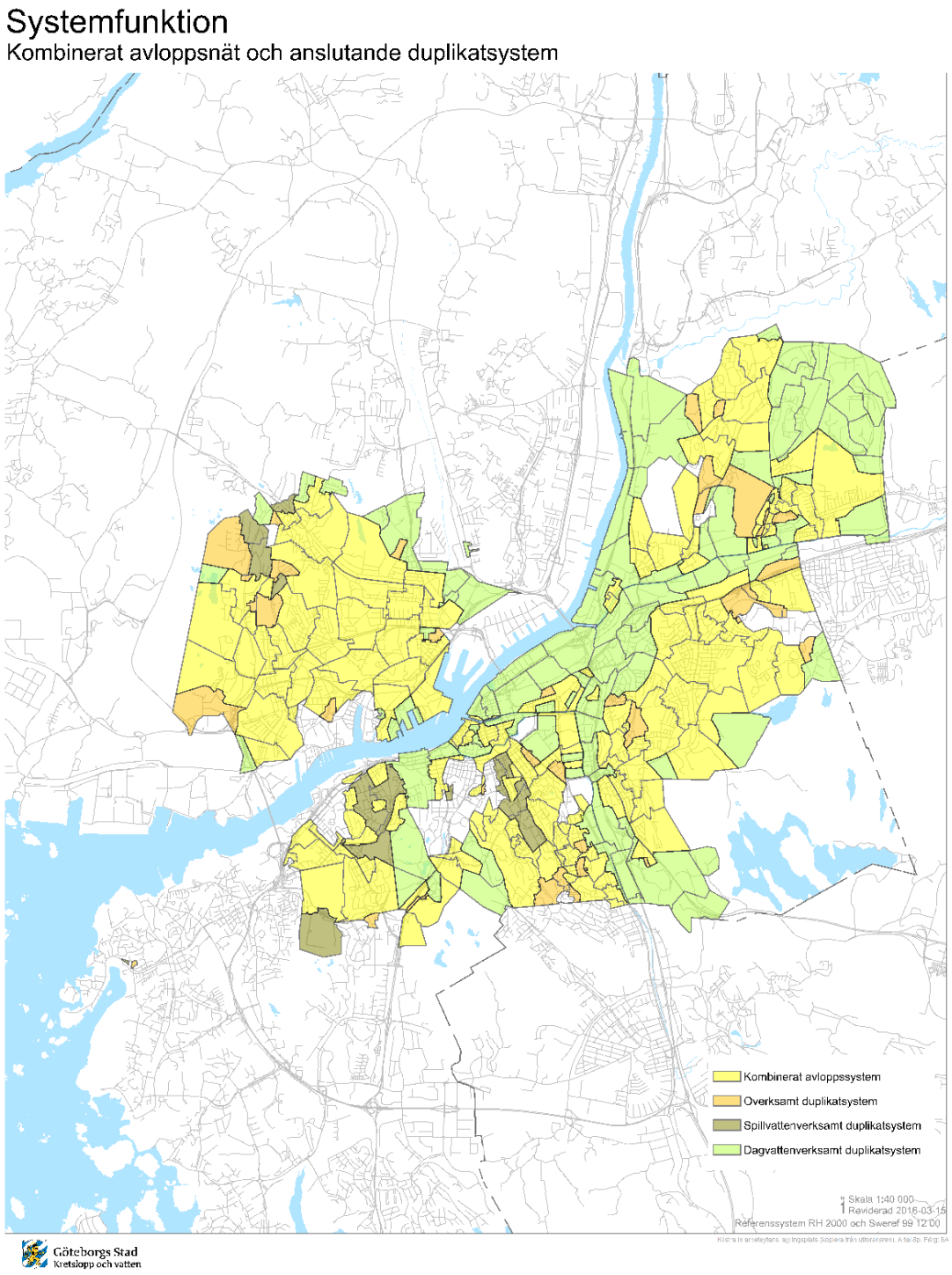
```
Hltk=2400; %Antal hus i Lundby
 Qrya(a+tltk*4)=Qrya(a+tltk*4)-((Qq(a)-Qbq(a))*Hltk*A);      % [m3/s]
```

## Uträkning av nytt flöde i Ryaverket med påverkan från Kyrkbyn, Bräcke och Lundby

```
Hkbl=1200; %Antal hus i Lundby
 Qrya(a+tkbl*4)=Qrya(a+tkbl*4)-((Qq(a)-Qbq(a))*Hkbl*A);     % [m3/s]

end
```

*Published with MATLAB® R2013b*

## Bilaga D Tilllägg till beräkningarna kring påverkan på Ryaverket

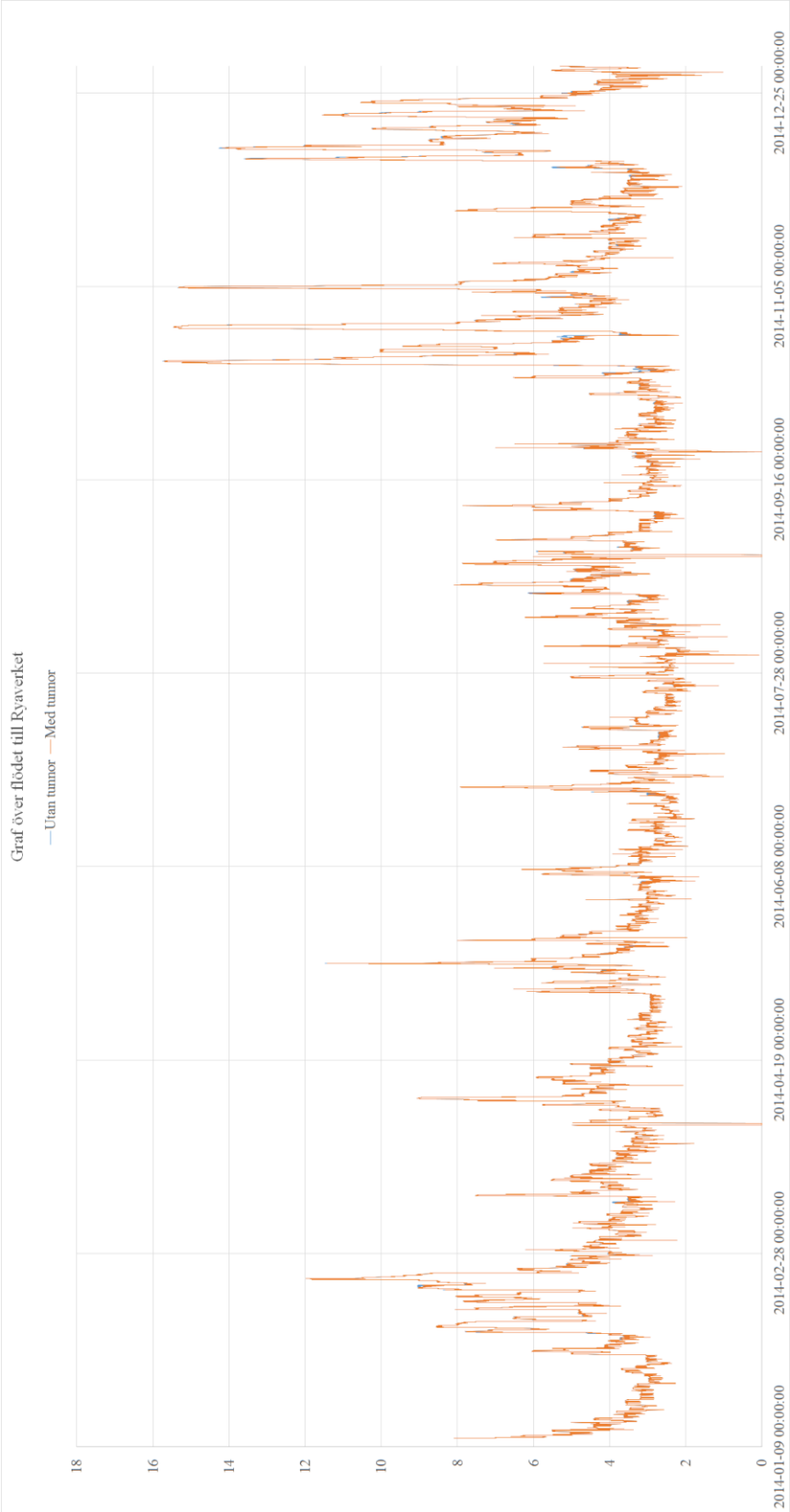



*Figur D.1. Karta över de områden i Göteborg som är kopplade på det kombinerade systemet. De olika färgerna symboliserar olika typer av kombinerade system, där områdena som var intressanta för denna studie är gula, orange och bruna. (personlig kommunikation Linn Wahlgren, Kretslopp och Vatten, 2016-03-15). Återgiven med tillstånd.*

Enligt utvecklingsingenjör David I'Ons på Gryaab, (personlig kommunikation, 2016-03-31), kan rinntiden från olika delar av staden till Ryaverket variera mycket beroende på var regnet faller och hur intensivt det är. DHI har dock tagit fram en uppskattning på ungefärliga rinntider vid olika flöden vid Ryaverket presenterade i tabell D.1 nedan.

*Tabell D.1. Den ungefärliga rinntiden från olika stadsdelar för olika flöden vid Ryaverket (Personlig kommunikation, David I'Ons, 2016-03-31).*

| | Tillrinningtid till Ryaverket vid olika flöden vid Ryaverket [h] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **3 $m^3/s$** | **6 $m^3/s$** | **9 $m^3/s$** | **13 $m^3/s$** |
| **Örgryte** | 11-12 | 8-9 | 7-8 | 6-7 |
| **Utby** | 25 | 22 | 17 | 16 |
| **Kålltorp** | 6 | 7 | 5 | 5 |
| **Krokslätt/Johanneberg** | 12 | 11 | 9 | 10 |
| **Kungsladugård** | 5 | 7 | 4 | 5 |
| **Lundby** | 1-2 | 1-2 | 1-2 | 1-2 |




*Figur D.2. Flödet till ryaverket under hela år 2014. De slå sträcken är utan regnvattentunnor och de orange med regnvattentunnor.*