



UPPSALA  
UNIVERSITET

UPTEC W12 016

Examensarbete 30 hp  
Juni 2012

# Dimensionering av åtgärder i kombinerade ledningssystem vid ökad spillvattenbelastning

Designing of measures in combined sewer  
systems at increased sanitary sewage load

---

Emelie Näsman Melander

## REFERAT

### Dimensionering av åtgärder i kombinerade ledningssystem vid ökad spillvattenbelastning

*Emelie Näsman Melander*

Ett allt vanligare uppdrag inom hydraulisk modellering är att undersöka hur nya bostads- och handelsområden påverkar statusen för äldre befintliga ledningsnät. I nya områden anläggs nästan uteslutande separatsystem och eftersom nya områden oftast uppförs utanför den befintliga bebyggelsen måste spillvattnet från dessa områden transporteras genom det befintliga avloppsnätet, vilket kan vara helt eller delvis kombinerat.

I stadsdelen Hjorthagen i Stockholm planeras 5000 nya lägenheter att byggas och spillvattenflödet från dessa skall anslutas uppströms det befintliga kombinerade ledningsnätet i området. Examensarbetet har gått ut på att undersöka hur det kombinerade ledningssystemet påverkas av den tillkommande spillvattenbelastningen. Syftet var att undersöka hur den dimensionerande spillvattenavrinningen påverkar de åtgärder och kostnader som behövs för att få det utökade ledningsnätet att fungera, samt att utreda behovet av ytterligare anpassningar av ledningsnätet inför framtida klimatförändringar.

Vid beräkning av bräddvolymen simuleras vanligen spillvattenavrinningen från medeldygnsförbrukning av vatten. I studien har det även ingått att undersöka om detta sätt ger lägre bräddvolym jämfört med att variera vattenförbrukningen med ett veckomönster.

Med modelleringsprogrammet MIKE Urban undersöktes tre fall av dimensionerande spillvattenflöde från det tillkommande området i Hjorthagen. Olika stor säkerhetsmarginal användes vid dimensioneringen. I alla tre fallen fick det tillkommande spillvattenflödet kapaciteten i det kombinerade ledningssystemet att överskridas redan vid torrväder, med bräddning som följd. Undersökningen visade att ju högre säkerhetsmarginal dimensioneringen innebar desto mer omfattande blev de åtgärder som krävdes för att få bräddningen att upphöra. Fallet med störst säkerhetsmarginal krävde ett utjämningsmagasin på 142 m<sup>3</sup> och att dimensionen på 670 m ledning ökades från 400 mm till 600 mm med en uppskattad åtgärds-kostnad på omkring nio miljoner kronor. De åtgärder som krävdes för att undvika bräddning vid torrväder var i alla tre fallen tillräckliga för att både minska bräddningen vid regnväder och för att klimatanpassa ledningsnätet.

I de fall som undersöktes kunde ingen trend ses som visade att simulering av dag- och spillvattenavrinning, utan veckovariationer i vattenförbrukningen, skulle ge för låga bräddvolymen.

**Nyckelord:** Hydraulisk modellering, kombinerade ledningssystem, bräddning, spillvatten, MIKE Urban

*Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet  
Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala  
ISSN 1401 5765*

## **ABSTRACT**

### **Designing of measures in combined sewer systems at increased sanitary sewage load**

*Emelie Näsman Melander*

An increasingly common assignment in hydraulic modeling is to investigate how sewage from new residential and commercial areas affect the status of existing sewer systems. In new areas the sewer systems are constructed to operate separately from storm drains and since new areas often are founded in the outskirts of existing areas the sanitary sewage from these areas must be transported through the older existing sewer system, which can be completely or partly combined.

In the district of Hjorthagen in Stockholm 5,000 new apartments are planned to be built and sewage from these must be connected upstream of existing combined sewer system in the area. The purpose of this master thesis was to investigate how combined sewer system is affected by additional sewage load. The aim was to investigate how the choice of design sewage flow affects the measures and costs necessary to get the extended sewer system to function, and to consider the need for further adjustments to future climate change.

When calculating volumes of combined sewer overflow the sewage flow usually is simulated as discharge from average water use. One objective with this thesis was to investigate whether this method gave lower volumes of combined sewer overflow as compared to using a weekly pattern.

By using the modeling program MIKE Urban three choices of design sewage flow, from the new area in Hjorthagen, were investigated. The margin of safety when designing the sewage flow was increased in each case. The results showed that the capacity of the combined sewer system was exceeded during dry weather, with overflow as a result. The investigation showed that the higher margin of safety used the more extensive measures was needed. The greatest margin of safety required a storage basin of 142 m<sup>3</sup> and that the dimension of 670 m of pipes was increased. To stop the overflow at dry weather the measures required in each case were sufficient to both reduce overflow during wet weather and to adjust the sewer system to future climate.

Simulating the rainfall runoff and sewage flow, without weekly variations in water consumption did not underestimate the volumes of combined sewer overflow compared to varying the water use.

**Keywords:** Hydraulic modeling, combined sewer overflow, MIKE Urban, design sewage flow

*Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Science,  
Uppsala University,  
Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala  
ISSN 1401-5765*

## FÖRORD

Detta examensarbete är det avslutande momentet i civilingenjörsutbildningen Miljö- och vattenteknik på Uppsala Universitet. Arbetet omfattar 30 högskolepoäng och har utförts på Tyréns VA-teknik i Stockholm. Ämnesgranskare har varit Sven Halldin på Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet och handledare på Tyréns har Hans Hammarlund varit.

Ett stort tack till min handledare Hans Hammarlund för all hjälp under arbetets gång. Jag vill även tacka alla på Tyréns VA-teknik i Stockholm för ett varmt välkomnande och trevligt sällskap.

Ett tack riktas även till Mathias von Scherling och Mulatu Debebe på Stockholm Vatten för hjälp med underlag till arbetet.

Till sist vill jag tacka min ämnesgranskare Sven Halldin för hjälp och synpunkter på rapporten.

Översiktskartan i rapporten har publicerats med Lantmäteriets Medgivande i2012/0021.

Uppsala, juni 2012

Emelie Näsman Melander

# POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

## Dimensionering av åtgärder i kombinerade ledningssystem vid ökad spillvattenbelastning

*Emelie Näsman Melander*

Östersjöns vatten förvandlas varje sommar till en grön sörja av blommande alger. Algblomningen har på senare år kommit allt oftare och tidigare på året. Ökningen orsakas av växtgödande ämnen som delvis rinner ut i havet från gödslade åkrar, men som även kommer med utsläpp av orenat avloppsvatten.

På 1950-talet började avloppsledningssystem med skilda ledningar för regnvatten och förorenat vatten från hushåll och serviceanläggningar, så kallat spillvatten, att anläggas. Innan hade ledningssystemen utgjorts av kombinerade system där regn- och spillvatten leddes i gemensamma ledningar.

Kombinerade ledningar kan bli överbelastade när det regnar och för att undvika att trycket i ledningarna utjämnas genom att avloppsvattnet tränger upp i golvbrunnar, och orsakar källaröversvämning, är ledningarna utrustade med bräddavlopp. I bräddavloppen kan blandningen av regn- och spillvatten rinna över om flödet i ledningen blir för stort. Det bräddade vattnet leds därefter, orenat, ut i närmsta sjö, havsvik eller vattendrag.

I nya områden anläggs nästan helt uteslutande separatsystem i vilka spillvattnet avleds i rörledningar medan regnvattnet avleds i dagvattenledningar eller diken och tas om hand lokalt i exempelvis dagvattendammar. Nya bostads- och industriområden uppförs ofta utanför den befintliga bebyggelsen vilket gör att spillvattnet från dessa områden måste transporteras genom det äldre ledningsnätet, som kan vara helt eller delvis kombinerat.

Separerade ledningar dimensioneras för att klara största spillvattenflödet. Kapaciteten i ett kombinerat ledningsnät skall däremot räcka till både maximalt spillvattenflöde och dagvattenflödet från regn, utan att överskridas oftare än i snitt en gång vart tionde år.

Spillvattenflödet i ett område beräknas i personekvivalenter vilket motsvarar den volym vatten som en person använder under ett dygn, vilket ofta antas vara 200 liter. I ett kombinerat ledningssystem dominerar vanligtvis dagvattenflödet över spillvattenflödet, men ansluts spillvattnet från ett område motsvarande ett stort antal personekvivalenter kan det dimensionerande spillvattenflödet få större betydelse. Sannolikheten att dimensionerande spillvattenflöde inträffar samtidigt som ett dimensionerande regn är däremot inte så stor och att ta hänsyn till båda dessa händelser skulle leda till överdimensionerade åtgärder. Väljs en lägre dimensionering kan det istället resultera i överskriden kapacitet med bland annat källaröversvämning och bräddning, som sker redan utan att det regnar, som följd.

Hur ett befintligt avloppsledningssystem påverkas om spillvatten från ett nybyggt område ansluts kan idag undersökas med hjälp av speciella datorprogram. Med information om bland annat ledningarnas längd, lutning och storlek samt antalet boende i området, byggs en datormodell av det verkliga ledningsnätet upp. Därefter kan flöden och vattennivåer i ledningarna

beskrivas. Risken för att ledningsnätets kapacitet överskrids med exempelvis källaröversvämningar som följd kan utvärderas och olika åtgärders effekt undersökas.

I stadsdelen Hjorthagen i Stockholm planeras 5000 nya lägenheter att byggas och spillvattenflödet från dessa skall anslutas uppströms det befintliga kombinerade ledningsnätet i området. Examensarbetet har gått ut på att undersöka hur det kombinerade ledningssystemet påverkas av den tillkommande spillvattenbelastningen. Syftet var att undersöka hur det dimensionerande spillvattenflödet påverkar de åtgärder och kostnader som behövs för att få det utökade ledningsnätet att fungera.

Klimatet de kommande 100 åren förväntas medföra häftigare skyfall som kommer att innebära en ökad belastning på avloppsledningsnäten. I examensarbetet utreddes om ledningsnätets nuvarande kapacitet skulle vara tillräcklig även i framtiden.

Vid beräkning av bräddning i kombinerade ledningssystem simuleras vanligen spillvattenavrinningen från medeldygnsförbrukning av vatten. Vattenförbrukningen är dock inte lika stor varje dygn. Om ett dygn med hög vattenförbrukning sammanfaller med ett dygn med höga dagvattenflöden kan denna situation innebära hög belastning på ledningsnätet med stora bräddvolymmer som följd. Vid simulering kommer liknande situationer aldrig att uppstå, om ingen hänsyn tas till att vattenförbrukningen kan variera från dag till dag, vilket kan leda till att de bräddade volymerna avloppsvatten underskattas. I examensarbetet har det ingått att undersöka om det kan vara av vikt att ta hänsyn till vattenförbrukningen veckovariation för att inte underskatta bräddvolymmer.

Med modelleringsprogrammet MIKE Urban undersöktes tre fall av dimensionerande spillvattenflöde från det tillkommande området i Hjorthagen. Olika stor säkerhetsmarginal användes vid dimensioneringen. I alla tre fallen fick enbart det tillkommande spillvattenflödet kapaciteten i det kombinerade ledningssystemet att överskridas, med bräddning som följd.

Undersökningen visade att ju högre säkerhetsmarginal dimensioneringen innebar desto mer omfattande blev de åtgärder som krävdes för att få bräddningen att upphöra. Fallet med störst säkerhetsmarginal krävde ett utjämningsmagasin på 142 m<sup>3</sup> och att dimensionen på 670 m ledning ökades från en diameter på 400 mm till en diameter på 600 mm. Kostnaderna för dessa åtgärder uppskattades med schablonvärden till omkring nio miljoner kronor.

De åtgärder som krävdes för att undvika bräddningen vid torrväder var i alla tre fallen tillräckliga för att både minska bräddningen vid regnväder och anpassa ledningsnätet för att klara ökad flödesbelastning från häftiga regn.

I de fall som undersöktes kunde ingen trend ses som visade på att simulering utan veckovariationer i vattenförbrukningen skulle underskatta bräddvolymerna.

## BEGREPPSFÖRKLARING

Avrinningskoefficient	Ett mått på hur stor del av ett avrinningsområde som deltar i avrinningen.
Blockregn	Teoretiskt regn med en viss nederbördsintensitet under en given varaktighet.
Blockregnsintensitet	Det största medelvärdet nederbördsintensiteten har under någon del av regnet för en specifik varaktighet.
Bräddning	Direkt utsläpp av en blandning av spill- och dagvatten till recipient med avsikt att utjämna flödet i ledningen vid hög vattennivå.
Bräddavlopp	Avlopp som möjliggör bräddning av spill- och dagvatten.
CAD	Computer-aided design är ett datorbaserat hjälpmedel för design av bland annat avloppsledningar.
CDS-regn	”Chicago Design Storm” är typregn som innehåller alla blockregnsvaraktigheter upp till den totala varaktigheten som väljs för CDS-regnet.
Dagvatten	Ytligt avrinnande regnvatten och smältvatten.
Duplicering	Att bygga om ett kombinerat ledningssystem till ett duplikat system.
Duplikat system	Avloppssystem där spillvatten och dagvatten avleds i skilda ledningar.
Hydrograf	En kurva som visar vattenföringen som funktion av tiden.
Instängt område	Område från vilket dagvatten inte kan avledas längs ytan genom självfall.
Kombinerade system	Dag- och spillvatten avleds i samma ledning.
Ledningshjässa	Högsta punkten i en ledning. När vattnet når upp till denna punkt är ledningen full.
Maxdygnsfaktor	Förhållandet mellan spillvattenavrinningen under ett dygn med maximal vattenförbrukning och ett dygn med medelförbrukning.
Maxtimfaktor	Förhållandet mellan spillvattenavrinningen från den timme med maximal vattenförbrukning under ett dygn med maximal förbrukning och den genomsnittliga timförbrukningen under samma dygn.
Nederbördsintensitet	Anges i VA-sammanhang som liter nederbörd per sekund och hektar ( $l\ s^{-1}ha^{-1}$ ).

Maximal vattenförbrukning	Den vattenförbrukning som en spillvattenförande ledning dimensioneras för vilket motsvarar den specifika vattenförbrukningen multiplicerad med maxdygs- och maxtimfaktor.
Pumpsump	Magasin där avloppsvattnet samlas i en pumpstation
Recipient	Vattendrag, havsvik eller sjö som är den slutliga mottagaren av renat eller orenat avlopps- och dagvatten.
Separerade system	Ett samlingsnamn för separatsystem och duplikatsystem
Separatsystem	Avloppssystem där spillvatten avleds i ledning medan dagvatten avleds i dike eller rännsten.
Servisledning	Ledning som ansluter fastighet till närliggande ledning i gatan.
Självfallssystem	Avloppsvattnet rinner till reningsverket eller utloppet med hjälp av gravitationen och behöver inte pumpas.
Skibord	Reglerbart överfall i bräddavlopp.
Specifik vattenförbrukning	Den mängd vatten som vattenverket pumpar ut.
Spillvatten	Förorenat vatten från hushåll, industrier och serviceanläggningar.
Tillskottsvatten	Vatten förutom spillvatten som avleds i en spillvattenförande ledning. Detta kan vara drän-, läck-, smältvatten.
Torrväder	Väder utan regn.
Trycklinje	”Trycklinjen förbinder nivåer till vilka en fri vattenyta kan stiga. Ett exempel är en ledning med trycklinjen ovanför hjässan på ledningen som innebär att vattnet i en anslutande ledning kan stiga till den nivå som motsvarar trycklinjens nivå” (Svenskt Vatten, 2004 s.8).
VA-huvudman	Den som äger en allmän VA-anläggning, vanligtvis kommunen.
Vattengång	Lägsta nivån i ledningens tvärsnitt.
Återkomsttid	Det tidsintervall inom vilket en händelse med ett visst värde inträffar i genomsnitt en gång.



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING.....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Syfte.....	2
2	TEORI.....	3
2.1	Avloppssystem.....	3
2.1.1	Utveckling av svenska avloppssystem .....	3
2.1.2	Delar på ett avloppsnät .....	4
2.1.3	Funktions- och miljöproblem .....	5
2.2	Dimensionering av avloppsledningar .....	5
2.2.1	Dagvattenförande avloppsledningar.....	5
2.2.2	Spillvattenförande avloppsledningar.....	8
2.2.3	Kombinerade avloppsledningar.....	10
2.2.4	Nederbördsdata för dimensionering .....	10
2.2.5	Ansvar vid spillvattenuppträngning .....	11
2.2.6	Framtida klimat .....	12
2.3	Hydraulisk modellering av avloppsledningsnät .....	12
2.3.1	Datormodelleringsverktyg.....	13
3	MATERIAL OCH METODER .....	15
3.1	Översiktligt utförande.....	15
3.2	MIKE Urban .....	15
3.2.1	CS-Rainfall-Runoff .....	15
3.2.2	CS-Pipeflow .....	16
3.3	Data.....	17
3.3.1	Regn .....	17
3.3.2	Temperatur .....	18
3.3.3	Avdunstning .....	18
3.3.4	Klimatscenarier. ....	18
3.4	Modellberäkningar.....	19
3.4.1	Torrvädersberäkning .....	19
3.4.2	Regnvädersberäkning .....	19
3.5	Områdesbeskrivning.....	20
3.5.1	Exploaterat tillstånd.....	22

3.5.2	Vattenförbrukning och förbrukningsmönster.....	23
3.5.3	Beskrivning av scenarier .....	24
3.5.4	Pumpstationer.....	25
3.6	Dimensioneringsundersökning .....	26
3.6.1	Torrvädersdimensionering .....	26
3.6.2	Regnvädersdimensionering .....	26
3.6.3	Trycklinjer.....	27
3.7	Klimatanpassning .....	27
3.8	Kostnadsuppskattning.....	27
4	RESULTAT .....	29
4.1.1	Torrvädersdimensionering .....	29
4.1.2	Regnvädersdimensionering .....	32
4.1.3	Trycklinjer.....	34
4.2	Klimatanpassning .....	35
4.3	Kostnadsuppskattning.....	36
5	DISKUSSION .....	37
5.1	Dimensionerande belastning.....	37
5.2	Klimatanpassning .....	37
5.3	Åtgärder och kostnader.....	38
5.4	Veckomönster.....	39
6	SLUTSATS .....	41
7	REFERENSER.....	43
	Bilaga A – Parametrar MOUSE RDI .....	47
	Bilaga B – Förbrukningsmönster .....	49
	Bilaga C – Utformning av veckomönster.....	52
	Bilaga D – Ökad ledningsdimension.....	53
	Bilaga E – Utformning av magasin .....	54
	Bilaga F – Trycklinjer .....	55
	Bilaga G – Bräddning Klimatscenario .....	56



# 1 INLEDNING

## 1.1 BAKGRUND

Sveriges 410 934 km<sup>2</sup> landareal (NE, 2011) befolkades vid årsskiftet 2010/2011 av 9,42 miljoner invånare (Tillväxtanalys, 2011a). Sverige har trots sin, i relation till folkmängd, stora yta, en koncentrerad befolkning. Den generella bilden över Sveriges befolkningsutveckling är att de större städerna ökar, medan de mindre orterna och landsbygden har en negativ befolkningsutveckling (Tillväxt, 2011b). Med en ökande befolkning i landets tätortsområden kommer även ett ökat bostadsbehov vilket innebär att både befintliga bostadsområden behöver byggas ut och nya markområden exploateras.

Vid planläggning av bebyggelse och exploatering av mark måste kommunerna ta hänsyn till att de allmänna intressena, som beskrivs i andra kapitlet i Plan- och bygglagen (SFS 2010:900), uppfylls. Ett av dessa innebär att lokalisering av ny bebyggelse skall möjliggöra samhällsservice något som bland annat innefattar avlopp.

I bebyggda områden behöver förorenat vatten från hushåll, industrier och serviceanläggningar, så kallat spillvatten (Svenskt Vatten, 2004), tas om hand och renas. För att detta vatten skall kunna transporteras på ett kontrollerat sätt till avloppsreningsverket leds vattnet i avloppsledningar. Även ytligt avrinnande regnvatten och smältvatten, så kallat dagvatten (Svenskt Vatten, 2004), kan orsaka problem i bebyggda områden och avleds därför till recipient genom bland annat ledningar.

För att hantera och avleda dag- och spillvatten används olika varianter på system av avloppsledningar. Dessa system förekommer i tre olika typer; kombinerat system, separatsystem och duplikat system. I ett kombinerat system finns en gemensam ledning dit både spill- och dagvattnet leds. System där dagvattnet avleds i rännsten eller dike medan spillvattnet avleds med rörledning kallas separatsystem och de system där spillvatten och dagvatten avleds i skilda rörledningar kallas duplikatsystem (Svenskt Vatten, 2004).

Funktionskraven skiljer sig åt mellan separerade respektive kombinerade system. Separerade ledningar dimensioneras för att klara största spillvattenflöde, vilket avgörs utifrån den timme på året då vattenförbrukningen är som störst. Kapaciteten hos separerade ledningsnät får i princip aldrig överskridas. Som en huvudregel vid dimensionering av kombinerade ledningar tas hänsyn till både dimensionerande dagvattenflöde och spillvattenflöde, dock dominerar dagvattnet över spillvattenflödet. Om inga strypningar förekommer på ledningen kan en kombinerad ledning överslagsmässigt dimensioneras för endast dimensionerande dagvattenflöde så länge ledningsnätets kapacitet inte överskrids oftare än i snitt en gång vart tionde år (Svenskt Vatten, 2004).

En typ av uppdrag inom hydraulisk modellering som blir allt vanligare är att undersöka hur nya bostadsområden och handelsområden påverkar statusen för äldre befintliga ledningsnät. Avloppssystem i nya områden är nästan uteslutande separatsystem och eftersom nya områden oftast ligger utanför den befintliga bebyggelsen måste avloppsvattnet från dessa områden transporteras genom det befintliga avloppsnätet, vilket kan vara helt eller delvis kombinerat.

Överskriden kapacitet innebär att vattennivån i den kombinerade ledningen stiger högre än källargolvsnivån i den mest utsatta fastigheten och därmed orsakar källaröversvämning via avloppsservisen (Svenskt Vatten, 2004). För att undvika uppdämningar och källaröversvämningar vid höga flöden av dagvatten är kombinerade ledningar utrustade med bräddavlopp. Via bräddavloppet avleds avloppsvattnet direkt till recipient (Naturvårdsverket, 1993). De åtgärder som blir aktuella när spillvatten från nya områden ansluts till ett kombinerat ledningssystem görs för att bräddningen inte skall öka på grund av den tillkommande spillvattenbelastningen, samtidigt som risken för källaröversvämning inte får öka. Mest troligt behövs åtgärder för att bräddningen inte skall öka vid regnväder och motsvarar det nya området ett mindre antal anslutna personer kan kapaciteten hos det befintliga nätet räcka till utan några större åtgärder. Är det nya området stort kan däremot dess dimensionerande spillvattenflöde få större betydelse för vilka åtgärder som krävs. Den tillkommande belastningen kan leda till att bräddning sker redan utan att det regnar vilket innebär att koncentrerat spillvatten släpps ut orenat i närmaste recipient, en företeelse som inte bör förekomma.

Sannolikheten att dimensionerande spillvattenflöde inträffar samtidigt med dimensionerande regn är liten och att dimensionera för båda händelserna skulle leda till stora kostnader och resurser som ofta står outnyttjade. Väljs en lägre dimensionering kan det däremot leda till att kapaciteten överskrids vilket, beroende på omfattningen, kan innebära skadeståndskostnader från tusen till flera miljoner kronor för VA-huvudmannen (Hammarlund, 2012, muntligen). Hur den dimensionerande spillvattenbelastningen väljs vid kapacitetsundersökningen kan bli avgörande för vilka åtgärder som krävs och hur stora säkerhetsmarginalerna blir.

Vid beräkning av bräddning i kombinerade ledningssystem simuleras vanligen spillvattenavrinningen från medeldygnsförbrukning av vatten. Vattenförbrukningen är dock inte lika stor varje dygn. Om ett dygn med hög vattenförbrukning sammanfaller med ett dygn med höga dagvattenflöden kan denna situation innebära hög belastning på ledningsnätet med stora bräddvolymmer som följd. Vid simulering kommer liknande situationer aldrig att uppstå om ingen hänsyn tas till att vattenförbrukningen kan variera från dag till dag, vilket kan leda till att de bräddade volymerna avloppsvatten underskattas.

## **1.2 SYFTE**

Examensarbetet har gått ut på att undersöka hur ett befintligt kombinerat ledningssystem påverkas när ett nytt separatsystem ansluts. Syftet var att undersöka hur valet av dimensionerande spillvattenavrinning påverkar de åtgärder och kostnader som behövs för att få det utökade ledningsnätet att fungera, samt att utreda behovet av ytterligare anpassningar av ledningsnätet inför framtida klimatförändringar.

Ett syfte har även varit att undersöka om det kan vara av vikt att ta hänsyn till vattenförbrukningens veckovariation vid beräkning av bräddvolymmer för att dessa inte skall underskattas.

## 2 TEORI

### 2.1 AVLOPPSSYSTEM

I 6 § i Lag (2006:412) om allmänna vattentjänster definieras avlopp som ”bortledande av dagvatten och dränvatten från ett område med samlad bebyggelse eller från en begravningsplats, bortledande av spillvatten eller bortledande av vatten som har använts för kylning”.

#### 2.1.1 Utveckling av svenska avloppssystem

Vatten- och avloppssystem började byggas ut i Sverige på 1800-talet och det första steget var en vattenledning som öppnades för allmänheten den 1 juli 1861 i Stockholm (Stockholm Vatten, 2012a). Första prioritet hade ledningar för dricksvatten, men med dessa ökade även mängden avloppsvatten. Lösningen att slänga ut avloppsvattnet på gatan blev ohållbar och avloppsledningar började anläggas (Johansson, 2002).

De ursprungliga avloppssystemen var kombinerade och avloppsvattnet leddes rakt ut i närmaste recipient. I början av 1900-talet började vattenklosetter bli allt mer förekommande i hushållen och år 1927 hade mer än 100 000 vattenklosetter installerats i Stockholm. Denna utveckling innebar en stor belastning på vattendragen i området och så småningom byggdes även reningsverk. I takt med att reningsverken byggdes ut pågick en ombyggnation av avloppsledningarna som innebar att avskärande ledningar anlades som ledde avloppsvattnet till reningsverken. Kriterierna som använts vid dimensioneringen av ledningarna tog inte hänsyn till riktigt kraftiga regn och för att flödesbelastningen inte skulle bli för hög utrustades ledningarna med bräddavlopp (Johansson, 2002).

Dagvattenflödet till reningsverken medförde försämrade rening och ökad förorening av recipienterna. Dessa orsaker gjorde att det kombinerade systemet började ifrågasättas och på 1950-talet anlades duplikata system när nya stadsdelar byggdes (Johansson, 2002), detta blev senare, på 1960-talet, närmast ett obligatoriskt krav vid all nybebyggelse (Naturvårdsverket, 1996). De kombinerade systemen hade på en del ställen bytts mot duplikata och va-teknikerna var vid den här tiden inställda på att fortsätta denna omläggning (Bäckman, 1984). Omställningen till duplikata system har bidragit till att svenska städer ofta har en kärna med kombinerat avloppssystem som omges av en krans av duplikatsystem (Johansson, 2002). Dag – och spillvattnet från dessa duplikata ytterområden anslöts dock till de äldre områdena med kombinerat nät på vägen till avloppsreningsverket och på detta sätt blev de nya duplikata systemen överksamma. Med omläggningen av kombinerade system till duplikata skulle detta åtgärdas. 1978 övergav Naturvårdsverket det absoluta kravet på omläggning till duplikatsystem (Bäckman, 1984) och för äldre högexploaterade stadskärnor accepterades utjämning på de kombinerade avloppsnäten genom bräddning (Naturvårdsverket, 1993). Idag anläggs både duplikatsystem och separatsystem i nya bostadsområden (Naturvårdsverket, 1996) och dagvattenhanteringen går mot ett systemskifte. I nybyggda och befintliga områden blir det allt vanligare att försöka minska det dagvatten som avleds i ledning och istället anlägga lokala lösningar, exempelvis dagvattendammar. Avsikten är att både göra systemen mindre känsliga för översvämning och för att minska belastningen på recipienten (Svenskt Vatten, 2007).

### **2.1.2 Delar på ett avloppsnät**

Många olika tekniker har använts och används för att minska volymen, frekvensen och påverkan av exempelvis bräddning i kombinerade ledningssystem. Vilka åtgärder som är mest lämpliga ur teknisk och kostnadseffektiv synvinkel är ofta relaterat till platsspecifika faktorer såsom ledningssystemets kondition, platsens geografi, klimat och årstidsvariationer i temperatur och regnmönster samt behov av underhåll (EPA, 2012a).

#### **Pumpstationer**

Det är önskvärt att avloppsledningar utformas som självfallssystem (Svenskt Vatten, 2004), dock kan det vara svårt att åstadkomma ibland beroende på de fysiska förhållandena på platsen. Vid sådana platser anläggs pumpstationer som lyfter avloppsvattnet till en nivå som det sedan kan rinna med självfall ifrån. Pumpstationen utgörs av en pumpsump och två eller flera pumpar. Det vanligaste sättet som pumpstationen drivs på är att en pump startar när pumpsumpen fyllts upp till en viss nivå med avloppsvatten. Pumpen fortsätter att pumpa till dess att nivån sjunkit till ett visst läge. Skulle flödet av tillrinnande avloppsvatten vara så stort att vattnet fortsätter stiga i pumpsumpen trots att den första pumpen är verksam startar den andra pumpen (Naturvårdsverket, 1996). Fördelen med att ha fler än en pump är att sårbarheten vid ett driftstopp hos en av pumparna minskar. De flesta pumpstationer utrustas med ett nödutlopp så att ledningsnätet skall kunna avlastas vid driftstopp (Naturvårdsverket, 1996).

#### **Bräddavlopp**

Var bräddavloppet är placerat beror på ledningens ursprungliga utformning. Anledningen till att bräddavlopp har anlagts är för att undvika uppdämningar i trånga delar av ledningsnätet som kan leda till källaröversvämningar (Naturvårdsverket, 1993). Bräddavlopp är framför allt vanligt i kombinerade avloppssystem där avloppsvattnet leds vidare till avloppsreningsverket via avskärande ledningar. Dessa avskärande ledningar kom till i början av 1950-talet när avloppsvattnet började renas i reningsverk. De avskärande ledningarna dimensionerades av ekonomiska och praktiska skäl för att endast kunna avleda en begränsad del av dag- och spillvattnet. Bräddavloppen placerades därför i skärningspunkter mellan uppsamlingsledning och den avskärande ledningen (Chalmers Tekniska Högskola, 1995).

Bräddavlopp är ibland utrustade med en strypning av flödet i form av ett munstycke eller strypledning tillsammans med ett överfall (Svenskt Vatten, 2004). Det finns två vanliga typer av bräddavlopp, nämligen bräddavlopp med överfallskant och bräddavlopp med utloppsöppning (Chalmers Tekniska Högskola, 1995). Överfallskanten är vanligen placerad vinkelrät mot flödesriktningen (Svenskt Vatten, 2004). Bräddavloppet skall vara utformat så att bräddning sker först när spillvattnet är utspätt av dagvatten till en viss grad. Denna utspädningsgrad är vanligen fem till sex gånger torrvädersflödet (Åström och Petterson, 2007)

#### **Utjämningsmagasin**

I kombinerade ledningar kan tillrinnande dagvatten i samband med stora regn ge höga flödestoppar. Dessa flödestoppar ger ett oregelbundet flöde in till avloppsreningsverken vilket försämrar reningsprocessen. Genom bräddavloppen kan dessa flöden utjämnas, men på bekostnad av att orenat spill- och dagvatten släpps ut till närmsta recipient. För att både kunna

utjämna flödestoppar och undvika bräddning anläggs utjämningsmagasin. Genom utjämningsmagasinet ges avloppsledningsnätet en större volym och därigenom en större mottagningsförmåga vilket kan minska risken för dämning och källaröversvämningar (Naturvårdsverket, 1996).

En studie av Erlandsson (2010) visar att vid överbelastningsproblem i kombinerade ledningsnät är utjämningsmagasin en kostnadseffektiv åtgärd som kan minska negativ påverkan på miljön mer jämfört med att exempelvis bygga om ledningsnätet till ett separerat system, så kallad duplicering.

### **2.1.3 Funktions- och miljöproblem**

Den bakomliggande orsaken till bräddningar, källaröversvämningar och hög tillrinning till avloppsreningsverk ligger ofta långt ifrån det ställe där problemen uppstår (Naturvårdsverket, 1996). Orsaken är tillskott från otäta ledningar eller av regn- och dränvatten (Svenskt Vatten, 2004) vilket leder till bräddning eller översvämning. Tillskottsvattnet kan också leda till en ökad flödesbelastning på avloppsreningsverket vilket påverkar reningen negativt och innebär ett ökat föroreningsutsläpp. Den bräddning som uppstår när ledningsnäten överbelastas innebär att obehandlat avloppsvatten, mer eller mindre utspätt, leds direkt ut till närmaste recipient. Förutom föroreningar från spillvattnet och sediment som samlats i ledningarna, innehåller bräddvattnet organsikt material, näringsämnen och tungmetaller. Bräddningen leder till ökad syreförbrukning i recipienten och förhöjda halter av bakterier, men bräddvattnet kan även föra med sig synliga föroreningar. Bräddavlopp som mynnar ut nära badplatser, råvattentäcker eller andra vattenförekomster kan få allvarliga konsekvenser eftersom djur och människor kan bli exponerade för bräddvattnets föroreningar och bakterier (Naturvårdsverket, 1996).

## **2.2 DIMENSIONERING AV AVLOPPSLEDNINGAR**

Enligt Miljöbalken (SFS 1998:808) 9 kap. 1 § ses utsläpp av avloppsvatten som miljöfarlig verksamhet. Med avloppsvatten avses enligt 9 kap. 2 § punkt 1 och 3 bland annat spillvatten eller annan flytande orenlighet samt dagvatten när det rör sig om ”avvattning av mark inom detaljplan som inte görs för en viss eller vissas fastigheters räkning”. Vidare säger Miljöbalken i 9 kap. 7§ att sådant avloppsvatten skall avledas och renas eller på annat sätt tas om hand så att olägenhet för människors hälsa eller miljön inte uppkommer.

Svenskt Vattens publikation P90 innehåller anvisningar för dimensionering och analys av allmänna avloppsledningar. Den är en omarbetning och modernisering av VAV P28 med anvisningar för beräkning av allmänna avloppsledningar som utkom år 1976. Moderniseringen behövdes framför allt eftersom att datormodellering börjat användas för analys av ledningsnät. Datorstöd har gjort det möjligt att använda långa verkliga regnserier i beräkningarna och att analysera sambanden mellan avrinningen från delområden och ledningssystemet (Svenskt Vatten, 2004).

### **2.2.1 Dagvattenförande avloppsledningar**

Enligt den europeiska standarden SS-EN 752 skall avloppssystem i urban miljö vara dimensionerade för att inte drabbas av översvämning oftare än med en återkomsttid på 10 –



50 år beroende på vilken typ av område det är frågan om; landsbygd, citybebyggelse, instängt område inom eller utanför citybebyggelse (Schmitt m.fl., 2004).

I Sverige dimensioneras allmänna avloppsledningar för att klara nederbördstillfällena med en viss återkomsttid. Valet av dimensionerande återkomsttid grundar sig på att ge ett både tekniskt och ekonomiskt optimalt ledningssystem (Svenskt Vatten, 2011). I Sverige gäller allmänt funktionskravet för ett dagvattenförandeledningssystem att de mest utsatta fastigheterna inte skall drabbas av källaröversvämning via avloppsservisen oftare än med en återkomsttid på 10 år. Dock dimensioneras inte dagvattenförande ledningar för regn med denna återkomsttid utan funktionskravet gällande översvämning uppfylls generellt genom att ledningsrören har standarddimensioner, vilket leder till att en större dimension än vad som krävs används (Svenskt Vatten, 2004).

Som kan ses i tabell 1 finns det olika krav som dimensioneringen av dagvattenförande ledningsnät skall uppfylla. Beroende på vilken typ av område det handlar om får vissa händelser förekomma mer eller mindre ofta. I ett område som ligger utanför tätbebyggt område där dagvattnet kan avledas med hjälp av självfall får exempelvis en kombinerad ledning gå fylld upp till ledningshjässan i snitt en gång vart femte år, medan samma typ av ledning i ett tätbebyggt område där dagvattnet inte kan ytavledas med självfall endast får gå fylld vart tionde år (Svenskt Vatten, 2004).

Tabell 1. Återkomsttider (år) för regn vid dimensionering av avloppssystem (Svenskt Vatten, 2004, p. 18)

Typ av område	Dimensionering för fylld ledning		Återkomsttid för trycklinje	
	Dagvattenledning	Kombinerad ledning	Marknivå för dagvattenledning	Källarnivå för kombinerad ledning
Ej instängt område utanför citybebyggelse	1	5	10	10
Ej instängt område inom citybebyggelse	2	5	10	10
Instängt område utanför citybebyggelse	5	10	10	10
Instängt område inom citybebyggelse	10	10	10	10

### Rationella metoden

Rationella metoden är en metod för att överslagsmässigt beräkna det maximala dagvattenflödet inom ett område. Metoden kritiseras av en del hydrologer för dess förenklade sätt att beräkna flöden, men det är ändå den metod som i många länder, däribland Sverige och USA, används vid dimensionering av avloppsledningsnät (Chow m.fl., 1988). För att metoden

skall ge ett tillförlitligt resultat måste området form vara närmast rektangulär och marken bör vara jämnt exploaterad, med avrinningskoefficienter av samma slag jämnt fördelade över området.

För att ta hänsyn till att en del av det regn som faller i ett avrinningsområde försvinner genom avdunstning och magasinering på markytan och därmed inte når avloppsledningarna används avrinningskoefficienter (Chalmers Tekniska Högskola, 1995). Avrinningskoefficienten blir ett mått på hur stor del av avrinningsområdet som kan delta i avrinningen (Svenskt Vatten, 2004) och är alltid ett tal mindre än ett. Storleken varierar med bland annat markytans lutning, intensiteten hos regnet och avrinningsområdets storlek (Chalmers Tekniska Högskola, 1995).

Med den rationella metoden, se ekvation 1, bestäms det dimensionerande dagvattenflödet genom att multiplicera avrinningsområdets area med den avrinningskoefficient som gäller för området och den dimensionerande nederbördsintensiteten.  $t_r$  står för regnets varaktighet och likställs i rationella metoden med områdets koncentrationstid. Denna tid bestäms som den tid det tar för vattnet att rinna från områdets mest avlägsna punkt till den studerade punkten i ledningssystemet (Svenskt Vatten, 2011).

$$q_{d \text{ dim}} = A \cdot \varphi \cdot i(t_r) \quad (1)$$

Där

$q_{d \text{ dim}}$	=	dimensionerande dagvattenflöde, [ $\text{l s}^{-1}$ ]
$A$	=	avrinningsområdets area, [ha]
$\varphi$	=	avrinningskoefficient, [-]
$i$	=	dimensionerande nederbördsintensitet, [ $\text{l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ]
$t_r$	=	koncentrationstid, [min]

Koncentrationstiden beror på avrinningsområdets egenskaper såsom lutning och storlek, men i praktiken antas den ofta vara konstant. I Svenskt Vatten P90 (2004, s. 22) anges ett empiriskt samband för att beräkna koncentrationstiden, se ekvation 2.

$$t_r = 0,043 \cdot \frac{(L_{h80})^{0,71}}{i^{0,32} \cdot S_h^{0,35} \cdot A_{del}^{0,05}} \quad (2)$$

Där

$t_r$	=	koncentrationstid, [min]
$L_{h80}$	=	huvudledningens längd fram till den längst uppströms liggande brunnen plus 80 meter, [m]
$S_h$	=	huvudledningens medellutning
$A_{del}$	=	avrinningsyta som deltar i flödet
$i$	=	regnintensitet, [ $\text{l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ]

Koncentrationstiden för en allmän avloppsvattenledning antas aldrig vara kortare än 10 minuter. För de större städerna i Sverige finns intensitets-varaktighetskurvor ur vilka den dimensionerande nederbördsintensiteten kan bestämmas. När dessa samband saknas kan Dahlströms formel 2010, se ekvation 3, som gäller för svenska förhållanden och

regnvaraktigheter upp till ett dygn, användas (Svenskt Vatten, 2011). Denna formel är en omarbetning av Dahlströms formel från 2006, vilken underskattar intensiteter för regnvaraktigheter större än två timmar med 20 – 30 % eller mer (Hernebring, 2008 s. 6).

$$i_{\text{Å}} = 190 \cdot \sqrt[3]{\text{Å}} \frac{\ln(T_R)}{T_R^{0,98}} + 2 \quad (3)$$

Där

$i_{\text{Å}}$	=	regnintensitet, [ $\text{l s}^{-1} \text{ha}^{-1}$ ]
$T_R$	=	regnets varaktighet, [min]
$\text{Å}$	=	återkomsttid, [månader]

### 2.2.2 Spillvattenförande avloppsledningar

Det allmänna avloppsledningsnätet finns för att avleda spillvatten från bostäder, verksamheter och industrier. Krav som spillvattensystemen måste uppfylla anges i publikation P90 av Svenskt Vatten (2004) och innebär bland annat att okontrollerat in- och utläckage från ledningssystemet inte får förekomma och att systemet skall vara dimensionerat och konstruerat så att risken för dämning och källaröversvämningar minimeras.

#### Vattenförbrukning och spillvattenavrinning

Hushållsförbrukningen och variationen i förbrukningsmönster beror på många olika parametrar. Hur vatten används kan skilja sig mellan områden beroende på typ av bostäder och den demografiska strukturen med avseende på åldersfördelning bland de boende och hushållens storlek (Svenskt Vatten, 2001).

När inte andra uppgifter finns kan spillvattenavrinningen antas vara den samma som den specifika vattenförbrukningen i ett område. Den specifika vattenförbrukningen grundar sig på alla mantalsskrivna inom verksamhetsområdet, däremot kan det antal som faktiskt bor i ett område vara 10 % högre (Svenskt Vatten, 2004).

Historiskt sett har vattenförbrukningen per person varierat från 350 liter per person och dygn på 1940-talet till närmare 500 liter per person och dygn på 1970-talet. Då förutspåddes vattenförbrukningen att vid nästa sekelskifte ha ökat till 800 liter per person och dygn, med den industriella vattenförbrukningen inräknad. Så är dock inte fallet, utan idag ligger den genomsnittliga vattenförbrukningen för en stockholmare på 200 liter per person och dygn (Stockholm Vatten, 2012b). Vid dimensionering av spillvattenledningar antas ofta att den specifika spillvattenavrinningen är just 200 liter per person och dygn. Hur vattenförbrukningen kommer att utvecklas är osäker, men om den utvecklingen som råder som innebär ökande installation av vattensnålare maskiner i hushållen kan den specifika vattenförbrukningen förväntas minska (Svenskt Vatten, 2004).

#### Förbrukningsmönster

Vid dimensionering av avloppsledningar tas hänsyn till vattenförbrukning och förbrukningsmönster. Den specifika spillvattenavrinningen för hushåll antas oftast vara lika som den specifika vattenförbrukningen (Svenskt Vatten, 2004). Vid dimensionering av spillvattenförande ledningar blir det maximala spillvattenflödet avgörande.

Vattenförbrukningen varierar under dygnet och året, men följer oftast samma mönster i de flesta samhällen (Svenskt Vatten, 2001). Under natten går vattenförbrukningen ner och har sedan ett eller flera maxima under dagen. De maximala flödena inträffar ofta på morgonen innan majoriteten av befolkningen börjar arbetet och på eftermiddagen när arbetsdagen är slut. I villaområden där bevattning av gräsmattor och dylikt förekommer är vattenförbrukningen ofta högre under sommarmånaderna. Denna förbrukning påverkar dock inte spillvattenavrinningen i avloppsledningsnätet. Plötsligt hög vattenförbrukningen på grund av vattenläckor återfinns inte heller i spillvattnets avrinningsvariation (Svenskt Vatten, 2004).

I Svenskt Vattens skrift P90 anges schablonvärden för vattenförbrukning och spillvattenavrinningens variation. För att bestämma dessa flöden kan även statistik över lokala förhållanden för det område där ledningsnätet skall dimensioneras användas (Svenskt Vatten, 2004).

För att korrigera dygnsmedelvärdet hos vattenförbrukningen multipliceras detta med en maxdygnsfaktor och en maxtimfaktor. Schablonvärden för dessa faktorer anges i Svenskt Vattens skrift P90. Hur dessa väljs beror på antalet anslutna personer, se tabell 2. Generellt minskar faktorerna med ökande antal anslutna brukare.

Tabell 2. Schablonvärden för maxdygnsfaktor och maxtimfaktor. Hämtat från Svenskt Vattens skrift P90 (2004, s. 15).

Anslutna personer	Maxdygnsfaktor $c_{d \max}$	Maxtimfaktor $c_{t \max}$
1000 – 3000	2,3 – 1,5	3,0 – 1,7
>3000	2,1 – 1,3	2,7 – 1,4

För att beräkna maxdygnsfaktor bestäms kvoten mellan den högsta dygnsförbrukningen (det dygn med högst genomsnittligt flöde),  $Q_{d \max}$ , som uppmätts under en längre tidsperiod och medelvärdet av dygnsförbrukningen,  $\bar{Q}$ , under perioden, se ekvation 4.

$$c_{d \max} = \frac{Q_{d \max}}{\bar{Q}} \quad (4)$$

Maxtimfaktor beräknas som kvoten mellan den högsta timförbrukningen,  $Q_{t \max}$  som inträffar under ett dygn med maximal dygnsförbrukning och medelvärdet av timförbrukningen under dygnet,  $Q_{d \max}$ , se ekvation 5.

$$c_{t \max} = \frac{Q_{t \max}}{Q_{d \max}} \quad (5)$$

Det dimensionerande spillvattenflödet beräknas enligt ekvation 7 som maxtimflödet under maxdygnet.

$$q_{s \text{ dim}} = [(q_{d \text{ medel}} \times p)/(3600 \times 24)] \times c_{d \text{ max}} \times c_{t \text{ max}} + q_{s \text{ ind}} \quad (7)$$

Där

- $q_{s \text{ dim}}$  = dimensionerande spillvattenflöde, [ $\text{l s}^{-1}$ ]
- $q_{d \text{ medel}}$  = specifik spillvattenavrinning, [ $\text{l person}^{-1} \text{ dygn}^{-1}$ ]
- $p$  = antal anslutna personer
- $q_{s \text{ ind}}$  = tillskott från eventuellt spillvatten från industrier, [ $\text{l s}^{-1}$ ]
- $c_{d \text{ max}}$  = maxdygnsfaktor, se tabell 2
- $c_{t \text{ max}}$  = maxtimfaktor, se tabell 2

Till detta flöde läggs tillskott av dränvatten och inläckande vatten innan ledningsdimension väljs (Svenskt Vatten, 2004).

### 2.2.3 Kombinerade avloppsledningar

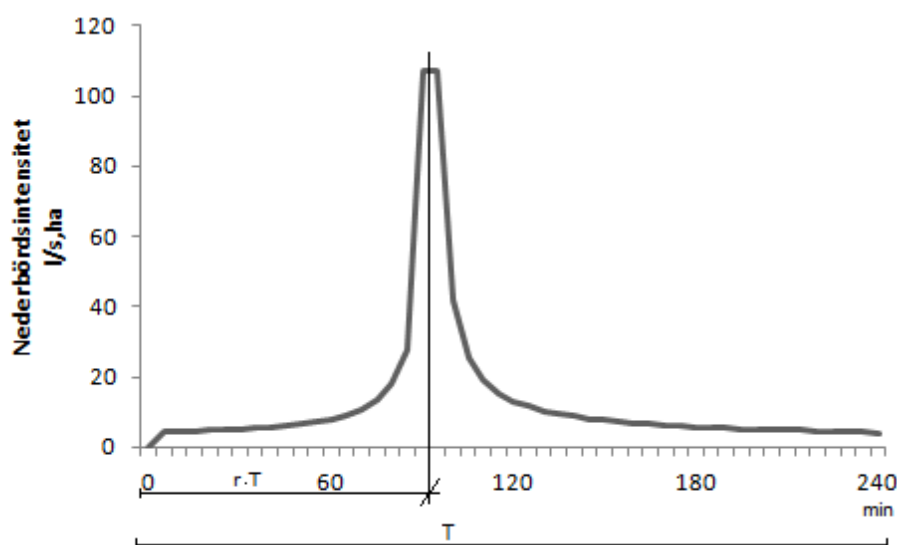
Kombinerade avloppssystem är idag anpassade till dagens krav även om de utformats efter de krav som gällt vid tiden när de anlades. Eftersom kombinerade system både är spillvatten- och dagvattenförande gäller en kombination av kraven för dessa respektive system, dock finns vissa signifikanta skillnader. I kombinerade ledningssystem accepteras en dämningnivå i höjd med lägsta källargolvsnivå, hos anslutna fastigheter, med återkomsttid enligt tabell 1. I kombinerade ledningssystem anordnas även bräddavlopp för att avlasta avloppsreningsverken vid stora flödestoppar. I vilken utsträckning som bräddning får förekomma beror på recipientkrav som anges som grad av utspädning (Svenskt Vatten, 2004).

### 2.2.4 Nederbördsdata för dimensionering

För att bestämma dimensionerande dagvattenflöden kan olika typer av nederbördsdata användas. En skillnad brukar göras mellan regndata som används för dimensionering respektive regndata som används för kapacitetsundersökningar och funktionskontroll av avloppsledningssystem (Svenskt Vatten, 2011).

När dagvattensystem dimensioneras har detta traditionellt gjorts genom enkla överslagsberäkningar med rationella metoden och regndata hämtade från så kallade intensitets-varaktighetskurvor. Kurvorna består av en statistisk bearbetning av maximala medelnederbördsintensiteter för olika individuella regn. När trycknivåer och översvämning i ledningssystemet skall analyseras krävs däremot oftast att en beräkningsmodell används tillsammans med typregn eller historiska regnserier så att hela avrinningshydrografen beräknas (Svenskt Vatten, 2011).

Vid dimensionering kan CDS-regn användas. CDS är en förkortning av ”Chicago Design Storm” och är ett typregn som innehåller alla blockregnsvaraktigheter upp till den totala varaktigheten som väljs för CDS-regnet. Ett exempel på utseendet hos ett CDS-regn kan ses i figur 1. Med CDS-regn erhålls den värsta situationen för varje del av avloppsledningssystemet vilket både minskar simuleringstiden och effektiviserar analys och presentation av resultaten (Svenskt Vatten, 2011).



Figur 1. Exempel på ett CDS-regn med en varaktighet på fyra timmar.  $T$  står för regnets totala varaktighet och  $r$  är en parameter som påverkar tidsavståndet från regnets start till intensitetsmaximum. Ett  $r$ -värde lika med 0,37 rekommenderas (Svenskt Vatten, 2011).

Vid beräkning av bräddningsvolymen under en bestämd period används framför allt kontinuerliga regnserier. För att ge ett korrekt statistiskt resultat bör regnserien vara tillräckligt lång så att den innehåller både häftiga regntillfällen och mer normala. Om risken för 10-årshändelser skall bestämmas bör en regnserie på minst 20 år användas, då är nämligen sannolikheten att ett regn med återkomsttid 10 år finns med 88 procent, se tabell 3 (Svenskt Vatten, 2011).

Tabell 3. I tabellen anges sannolikheten (%) att minst ett regn med en viss återkomsttid skall påträffas beroende på hur lång tidsserien är (Svensk Vatten, 2011 s. 39).

Tidsseriens längd i år	Regnets återkomsttid i år					
	2	5	10	20	50	100
1	50	20	10	5	2	1
2	75	36	19	10	4	2
5	97	67	41	23	10	5
10	>99,9	89	65	40	18	10
20	>99,9	99	88	64	33	18
30	>99,9	99,9	96	79	45	26

### 2.2.5 Ansvar vid spillvattenuppträngning

Om en fastighet drabbas av översvämning orsakad av dämning i avloppsledningsnätet är det kommunens VA-huvudman, ofta kommunens VA-avdelning eller verk, som är ansvarig att utreda vem som bär ansvaret till skadan. Visar utredningen att ledningarna i gatan uppfyller de krav på dimensionering som anges i Svenskt Vattens skrift P90 och den föregående P28 bär inte VA-huvudmannen ansvaret för skadan. Dessa bestämmelser anges i Lagen om allmänna vattentjänster (2006:412) (Svenskt Vatten, 2007).

Tvister om ansvar för källaröversvämningsskador enligt ovan nämnda lag handläggs av Statens VA-nämnd (Statens VA-nämnd, 2012). Bedöms VA-huvudmannen vara ansvarig för

källaröversvämningen kan skadeståndskostnaderna variera från några tusen till flera miljoner kronor beroende på omfattningen och vad som tagit skada vid översvämningen (Hammarlund, 2012, muntligen).

Vid bedömningar i VA-nämnden tillämpas en säkerhetsmarginal på 50 cm från trycklinjen vid ett 10-årsregn upp till den nivå där servisledningen ansluter till det allmänna avloppsledningsnätet (Hammarlund, 2012, muntligen).

### **2.2.6 Framtida klimat**

Hur det framtida klimatet kommer att förändras och vad detta kommer att betyda för belastningen på avloppsledningssystemen är svårt att förutsäga. De studier som görs av det framtida klimatet visar att årsnederbördsvolymen ökar. VA-systemen har vid utbyggnad och renoveringar tidigare dimensionerats för ett oförändrat klimat. Det är ett synsätt som måste ändras på grund av den möjliga klimatförändringen. Att välja rätt dimensionering är inte lika intuitivt längre (Dahlström, 2006).

Förändringarna av klimatet förväntas ske relativt långsamt och resultera i högre regnintensiteter. Den långsamma förändringen möjliggör en anpassning av de befintliga VA-systemen, och självklart även de system som skall anläggas. Den ökande exploateringen och övriga förändringar i bebyggelsen kan sannolikt innebära större risk för översvämningar än de effekter som den pågående klimatförändringen ger. Förbättringar av ledningsnäten sker successivt genom anpassningar till exempelvis nybebyggelse vilket gör att ledningsnäten stegvis även kan anpassas till de förändrade regnförhållandena (Svenskt Vatten, 2007).

I en studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem (Olsson m.fl., 2010) undersöks effekterna från tre möjliga utvecklingar av klimatet. Scenarierna som undersöks av Olsson m.fl. är B2, A1B och A2. Dessa motsvarar den internationella klimatpanelen IPCC:s (Intergovernmental Panel on Climate Change) olika utsläppsscenarioer av växthusgaser som bygger på antaganden om framtida befolkningsökning, globalisering, utveckling och omställning till mer miljövänlig teknik och hur världsekonomin kommer att se ut i framtiden. Studien visar att oberoende av vilket scenario som ger störst nederbördsförändring kommer bräddvolymerna till Mälaren och Saltsjön att öka de kommande decennierna och de bräddade volymerna påverkas väldigt lite av ökande befolkning.

## **2.3 HYDRAULISK MODELLERING AV AVLOPPSLEDNINGSNÄT**

Att undvika översvämning på grund av bristande kapacitet hos avloppsledningsnätet i urbana miljöer blir allt mer aktuellt. Idag är ett vanligt uppdrag inom hydraulisk modellering att undersöka kapaciteten hos avloppsledningsnät för att utreda risk för översvämning och bräddning. Den bakomliggande anledningen till att en sådan analys görs kan vara att det förekommit problem med översvämning eller bräddningar vid torrväder, vilket beror på överskriden kapacitet i ett kombinerat ledningssystem, eller i samband med utredning av dimensionering när nya ledningsnät skall anläggas och anslutas till ett befintligt ledningsnät (Granlund & Nilsson, 2000).

Avloppsledningsnät är i de flesta fall komplexa system och för att beskriva dessa på ett översiktligt och hanterbart sätt används datormodeller av systemen. Genom fysisk data för exempelvis rörledningarnas dimensioner och lutning samt andelen hårdgjorda ytor anslutna till systemet kan modellen byggas upp. Genom modellering kan sambanden mellan belastning från spill- och dagvattenflöden, utformningen hos ledningssystemet och bräddningsförhållanden undersökas. Resultaten kan användas för att bedöma om åtgärder på det verkliga ledningsnätet behövs och vilka effekter dessa återgår ger (Naturvårdsverket, 1996).

### **2.3.1 Datormodelleringsverktyg**

Det finns ett antal olika program för hydraulisk modellering av avloppsledningsnät. SWMM, Storm Water Management Model, är ett program utvecklat av EPA, Environmental Protection Agency, den amerikanska motsvarigheten till svenska Naturvårdsverket, som gratis kan laddas ner från EPA:s hemsida (EPA, 2012b). Programmet använder en beräkningsmotor med samma namn, SWMM, som även används i ett antal andra program för hydraulisk modellering av avloppsledningsnät i urbana miljöer (Frimodt, 2009).

Det dominerande programmet i Sverige är MIKE Urban som utvecklats av Dansk Hydraulisk Institut, DHI (Naturvårdsverket, 1996). I MIKE Urban kan MOUSE, Modelling Of Urban SEwers, eller SWMM användas för modellering av avloppsnet.

Frimodts (2009) studie, *Användarvänligheten hos programverktyg för beräkningar av flöden och dämningnivåer i avloppsnet*, visade att MIKE Urban och MOUSE är det program som med fördel bör användas för arbete med stora och komplexa system. Däremot kan SWMM vara enklare för en förstagångs-användare eftersom antalet funktioner och val är färre än i MIKE Urban. Det är dock svårare att interpolera och ansätta saknade data i SWMM, jämfört med MIKE Urban. SWMM har inte heller något lätthanterligt sätt för att importera data och det saknar GIS-koppling vilket inte gör det möjligt att lägga in bakgrundskartor i modellen. Varken MIKE Urban eller SWMM har enkla funktioner för koppling till CAD, något som andra liknande program, så som PCSWMM och SEWERGEMS, möjliggör och som kan vara en stor fördel i vissa sammanhang.

Fördelar med MIKE Urban är att långa historiska tidsserier kan användas som indata vid simuleringarna och att det är möjligt att simulera flöden av tillskotts- och dränvatten i markfasen i den hydrologiska cykeln (DHI, 2011a).

Varje år uppstår skador i urbana områden då häftiga regn orsakar översvämningar i ledningssystemen. Att helt undvika översvämning är inte realistiskt rent ekonomiskt och en kompromiss mellan skydd mot översvämning och kostnad på lång sikt görs oftast. I ett projekt mellan tyska BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) och det europeiska samarbetsnätverket EUREKA har ett simulerings- och planeringsverktyg, RisUrSim (Risk management in Urban areas - Simulation and optimization), utvecklats. Verktyget som består av en simuleringsmodell kan användas för att ta fram en kostnadseffektiv lösning som följer den Europeiska standarden, EN 725, och ger en tolerabel nivå på översvämningens risk (Schmitt m.fl., 2004), vilket skiljer sig mot konventionella metoder som endast tar hänsyn till flödesförloppet i ledningsnätet (Fraunhofer, 2012).



Det material som använts i examensarbetet är framtaget och anpassat efter MIKE Urban och av denna anledning, samt att det var viktigt att kunna använda tidsserier i undersökningarna, användes MIKE Urban.

### **3 MATERIAL OCH METODER**

Studien bygger på resultat från en modell baserad på avloppsledningsnätet i Louddens avrinningsområde. Modellen är framtagen i modelleringsverktyget MIKE Urban. I detta avsnitt beskrivs de indata i form av regn, temperatur och avdunstning som använts i simuleringarna. Även de metoder som används i MIKE Urban för att beräkna flöden och avrinning beskrivs samt det tillvägagångssätt och metod som använts i examensarbetet.

#### **3.1 ÖVERSIKTLIGT UTFÖRANDE**

Examensarbetets syfte har besvarats genom undersökningar med en färdig modell, kallad Hjorthagen, som beskriver ett delvis kombinerat ledningssystem till vilket ett separatsystem i ett nybyggt område skall anslutas.

Avloppsledningssystemets kapacitet har utvärderats genom statistik av den bräddning som sker vid bräddavloppen i ledningssystemet när olika förbrukningsmönster och maxdygnsförbrukning av vatten simuleras, med och utan avrinningen från regntillfällena under åren 1984 till 2008.

Behovet av klimatanpassning i det studerade ledningssystemet har undersökts för två framtida 30-årsperioder, 2011-2040 och 2041-2070, med omskalade versioner av tidigare nämnda regntillfällen.

#### **3.2 MIKE URBAN**

Modelleringsprocessen i MIKE Urban utförs i ett antal, på varandra följande, steg. Arbetet inleds med att ledningsnätsdata definieras och en modell innehållande noder (brunnar, magasin etc.), ledningar och avrinningsområden byggs upp. Därefter görs inställningar av randvillkor och beräkningsparametrar och de avslutande delarna innebär simulering och analys av resultatet. Undersökning av vad som händer i ledningssystemet inleds med en avrinningssimulering som blir indata till nätverkssimuleringen. För att verifiera att de beräknade resultaten stämmer är modellkalibrering mot verkliga flödesdata en viktig del i modelleringsprocessen (DHI, 2011a).

Kalibreringen av modellen har gjorts med ett gott resultat i samband med tidigare utredningar utförda av Sweco och Stockholm Vatten. Modellen är kalibrerad mot nivåer och flöden i ett antal punkter på ledningsnätet samt mot totalflödet till Louddens pumpstation. För mätvärden och kalibreringsresultat hänvisas till Stockholm Vatten VA AB och uppdragsrapport *Hjorthagen – Storängsvägen – Lidingövägen – Loudden* av Olsson (2011).

MIKE Urban består av ett system av delmoduler. I examensarbetet har modulerna för avloppsledningsnät, (Collection Systems); CS-Rainfall-Runoff och CS-Pipeflow utnyttjats.

##### **3.2.1 CS-Rainfall-Runoff**

Med CS-Rainfall-Runoff modulen beräknades både avrinningen från hårdgjorda ytor och tillskottet av läck- och dränvatten.

## **Avrinning**

Avrinningen från hårdgjorda ytor simulerades med tid-area-metoden och den förinställda tid-area kurvan för rektangulära upptagningsområden (DHI, 2011b).

Tid-area-metoden är en utveckling av den rationella metoden och är en grafisk metod där kurvor beskriver den area av avrinningsområdet som bidrar till avrinningen vid olika tidpunkter. Skillnaden mot den rationella metoden är att det i tid-area-metoden inte antas att regnintensiteten är likformig över hela avrinningsområdet under hela koncentrationstiden. Det område som skall beräknas delas upp i delområden och för varje delområde bestäms en konstant koncentrationstid och en linjär tid-area kurva konstrueras (Svenskt Vatten, 2004, Chalmers Tekniska Högskola, 1995).

## **MOUSE RDI (Rainfall Dependent Infiltration)**

Tillskottsvatten har beräknats med MOUSE RDI och tre uppsättningar med parameterinställningar, se figur A1, A2 och A3 i bilaga A. I simuleringen har hänsyn tagits till regn, temperatur och avdunstning. Simulering med MOUSE RDI resulterar i avrinning som inkluderar komponenterna i den hydrologiska cykeln och hela markfasen. I denna typ av modellering tillämpas ett så kallat hydrologiskt minne och inverkan från flera på varandra följande nederbördstillfällen kan simuleras, vilket gör RDI-modellering lämplig vid långtidsanalyser. Tillskottet av läck- eller dränvatten till ledningssystemet simuleras genom den snabba flödesresponsen, FRC (Fast response component), och den långsamma flödesresponsen SRC, (slow response component) (DHI, 2011a). I en avloppsledning som leder både dag- och spillvatten ger FRC-komponenten snabba flödestoppar och små volymer under ett år medan SRC-komponenten ger långsammare förändringar och stora årsvolymer (Granlund & Nilsson, 2000).

### **3.2.2 CS-Pipeflow**

CS-Pipeflow används för hydrodynamisk simulering av ledningsnät med MOUSE och modulen möjliggör även långtidssimulering med historiska tidsserier av regn (DHI, 2011b).

## **Hydrodynamisk simulering**

Flöden beräknas med Saint-Vernants differentialekvationer och genom val mellan kinematisk våg, diffus våg eller dynamisk våg ges beräkningarna olika grad av komplexitet. I denna studie har dynamisk våg använts, vilket är det beräkningssätt som ger den mest kompletta beskrivningen av flödet. Genom att lösa Saint-Vernants ekvationer för bevarandet av massa och impuls, se ekvation 8 och 9, beräknas icke-stationär strömning. Endast i special fall kan ekvationerna lösas analytiskt vilket innebär att lösningarna vanligtvis är numeriska (DHI, 2011a).

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \frac{Q^2}{A})}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gAI_f = gAI_0 \quad (9)$$

Där

Q	=	flödet, [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
A	=	flödets tvärsnittsarea, [m <sup>2</sup> ]
y	=	flödesdjupet, [m]
g	=	gravitationskonstanten, [ms <sup>-2</sup> ]
x	=	avståndet i flödesriktningen, [m]
t	=	tiden, [s]
α	=	distributionskonstant för hastigheten, [-]
I <sub>0</sub>	=	bottenlutningen, [-]
I <sub>f</sub>	=	friktionslutningen, [-]

(DHI 2011c).

### MOUSE LTS (Long Term Statistics)

Med MOUSE LTS-modulen kombineras simulering av ledningsnätsflöden under torrväder med simulering av flöden vid regnväder. Detta resulterar i att belastning på avloppsreningsverk och bräddning i kombinerade avloppsledningar kan beräknas. Resultatet kan både redovisas i presentationsverktyget MIKE View och som tidsserier (DHI, 2011b).

När långa historiska tidsserier används som indata kan simuleringarna bli tidskrävande om flöden från alla regntillfällen beräknas. Med MOUSE LTS-modul kan de regntillfällen som ger betydelsefulla effekter på flödena i avloppsledningarnätet simuleras utan att beräkningarna blir allt för tidskrävande (DHI, 2011b).

Med hjälp av så kallade Job list criteria valdes intervall ut för simulering av regnväder. Den maximala flödeskapaciteten för ledningarna direkt efter bräddavloppen sattes som startkriterium för beräkningarna. Således valdes regntillfällen ut som orsakade bräddning i något av modellens bräddavlopp.

## 3.3 DATA

De tidsserier som använts för att beräkna flöden i MIKE Urban har tagits fram till den befintliga modellen av Stockholm Vatten.

### 3.3.1 Regn

#### Historisk regnserie

För att beräkna dagvattenflödet användes en regnserie som täcker åren 1982 – 2008 uppmätt med vippskålmätare av Stockholm Vatten. Regnserien saknar högupplösta värden för åren 1982 - 1983, och 1994 - 1995 då data erhållits från SMHI. Mätvärden från SMHI har ibland använts för perioder med minusgrader eftersom vippskålmätare ibland ger orimligt låga värden vid minusgrader (Meyer, 2008).

Regn från SMHI är hämtade från mätstation 9720 Bromma flygplats fram till år 1997 och därefter från mätstation 9821 Observatoriekullen. Fram till den 7 december 2005 hämtades regndata från mätare vid Torsgatan i Stockholm och under perioden 8 december 2005 till 5 maj 2006 från en mätare i Åkeshov. På grund av uteblivna mätvärden från Stockholm Vattens fasta nederbördsräknare hämtades nederbördsdata under en period sommaren 2006 från en kampanjmätning vid sjön Trekanten. Därefter har regndata från Torsgatan återigen använts (Meyer, 2008).

Eftersom högupplöst data saknas för åren 1982-1983 och 1994-1995 har dessa år inte räknats med i bräddningsstatistiken, följaktligen motsvarar den statistik som beräknats 22 år av regn.

VA-FORSK rapport 2006-04 (Hernebring, 2006) innehåller en bearbetning av regntillfällena uppmätta vid Torsgatan mellan 1984 och 2004, alltså en kortare version av regnserien som använts i detta examensarbete. Hernebring (2006) visar att det under den studerade perioden förekom två extremtillfällen med avseende på regnvolym. Dessa inföll 1984-07-14 då regntillfället varade 2 timmar och volymen som föll var 61,8 mm samt 1992-07-28 då regnet varade i 18,7 timmar och uppgick till en volym av 87,2 mm. Vidare visar Hernebrings studie att majoriteten av de 100 största blockregnsintensiteterna med varaktighet 10 minuter inträffade mellan 12.00 och 18.00 under den studerade perioden.

### **Typregn**

I examensarbetet togs CDS-regn fram med Dahlströms formel från 2010. CDS-regnen hade en varaktighet på 360 minuter och centralt block 10 minuter. Regn med återkomsttid från ett år upp till och med 20 år skapades. Enligt rekommendationer från bland annat Svenskt Vattens skrift P104 (2011) försköts regnintensitetsmaximum genom att r-parametern gavs värdet 0,37.

### **3.3.2 Temperatur**

En temperaturserie observerad vid SMHI:s mätstation vid Bromma flygplats (Meyer, 2008) användes vid simuleringarna.

### **3.3.3 Avdunstning**

De uppgifter om potentiell avdunstning som använts i beräkningarna är tabelluppgifter med månadsvärden som hämtats från SMHI. För att ta hänsyn till att delar av avrinningsområdet är urbant med mindre växtlighet än naturmark är värdena multiplicerade med 0,9 (Meyer, 2008).

### **3.3.4 Klimatscenarier.**

För att undersöka vad den framtida klimatutvecklingen skulle kunna ha för inverkan på avloppsvattennätet användes i examensarbetet tidsserier motsvarande scenario A1B som, översatt i förväntad global temperaturökning i slutet av århundradet, beskrivs som ett medelscenario av Olsson m.fl. (2010).

I scenario A1B antas världsbefolkningen nå ett maximum i mitten av århundradet och därefter avta, introduktionen av effektiva teknologier antas vara snabb och användningen av fossila bränslen och förnyelsebar energi balanserad (IPCC, 2000).

Tidsserierna är framtagna av Jonas Olsson på SMHI och utgörs av omskalade versioner av regnserien från Torsgatan samt tidsserierna med temperatur och avdunstning. Omskalningen av nederbördsserien görs med en version av Delta Change-metoden som beskrivs i Olsson m.fl. (2009).

Den historiska regnserien från Torsgatan som skalats om sträcker sig från 1982-01-01 till och med 2007-10-31. I examensarbetet har två framtida 30-årsperioder använts 2011-2040 och 2041-2070. I rapporten har referensperioden 1982-2008 kallats "0" och de två framtida perioderna "A1B 1" (2011-2040) och "A1B 2" (2041-2070).

### **3.4 MODELLBERÄKNINGAR**

Två typer av modellberäkningar användes vid undersökningarna. Dessa kallas i rapporten för torrvädersberäkning respektive regnvädersberäkning och nedan följer en förklaring av begreppen.

#### **3.4.1 Torrvädersberäkning**

En förutsättning vid undersökningarna var att bräddning inte fick förekomma vid torrväder vilket innebär tillfällen när det inte regnar. Beräkningar som endast tog hänsyn till spillvattenavrinning kallas således torrvädersberäkningar i denna rapport.

I modellen Hjorthagen utfördes torrvädersberäkningar under sju dygn och resultaten från de tre första dyggen förbisågs eftersom dessa kunde innehålla felaktigheter som berodde på att ledningssystemet vid simuleringstarten var helt tomt.

#### **3.4.2 Regnvädersberäkning**

Beräkningar som utfördes där avloppssystemet belastades med avrinning från både regn och spillvatten kallas i rapporten regnvädersberäkningar. Vid dessa beräkningar var spillvattenflödet inlagt med medeldygnsförbrukning av vatten och dygnsvariation.

Ofta håller flödestoppen vid regn i sig längre än vad själva regnet varar. Denna företeelse beror på det så kallade hydrologiska minnet som innebär att flödet inte bara beror på hur mycket det regnar utan även på hur den hydrologiska situationen ser ut vid regntillfället (Olsson m.fl., 2010). För att inte tidigare regnhändelser skulle påverka och ge felaktigheter i minnet användes de två första åren i avrinningsberäkningarna för att ställa in minnet. Således utfördes avrinningsberäkningar från 1982-01-01 till 2008-06-30, men resultaten från de två första åren har inte använts i utvärderingarna. Samma förutsättningar gällde för simuleringarna med de klimatanpassade regnserierna, dessa slutade dock vid 2007-10-31.

### 3.5 OMRÅDESBESKRIVNING

Modellen baseras på en MIKE Urban-modell över Louddens avrinningsområde som tagits fram av Stockholm Vatten och Sweco (Olsson, 2011). Modellområdet är inringat med vit cirkel i figur 2.



Figur 2. Området som MIKE Urban-modellen baseras på ligger vid Värtahamnen som ligger i stadsdelarna Ladugårdsgärdet och Hjorthagen. © Lantmäteriet Medgivande i2012/0021

Området som MIKE Urban-modellen omfattar ligger vid Värtahamnen och utgörs främst av hamn- och industriverksamhet. En omvandling till stadsbebyggelse är planerad vilket innebär att ca 5000 lägenheter skall byggas. Den framtida exploateringen innebär en tillkommande belastning av spillvatten från cirka 13000 nya invånare samt spillvattenbelastning från allmän verksamhet.

Ledningsnätet sträcker sig bland annat längs Erik Dahlbergsgatan, Lidingövägen och Tegelluddsvägen och är delvis kombinerat och vissa delar är redan i det ursprungliga tillståndet underdimensionerade. En kritisk punkt är ett bräddavlopp A i brunn ANB35844 där en stor del kombinerat avloppsvatten bräddas till dagvattenbräddledning. Ledningsnätet belastas av stora flöden från hårdgjorda ytor i området, och bräddning orsakas till stor del av uppdamning i ledningssystemet.

Två fastigheter ansluter till avloppsledningsnätet, via servisledning på +10,20 (RH00) meter, strax nedströms brunn ANB35844, se figur 3. Dessa fastigheter har den lägsta anslutningsnivån vid detta bräddavlopp.

Tre pumpstationer som skall pumpa spillvattnet från de nya områdena upp till det befintliga ledningsnätet skall anläggas. Kapaciteten hos det befintliga ledningsnätet kommer på grund av det redan ansträngda tillståndet inte klara belastningen från de nya områdena utan att bräddning tidvis sker redan vid torrväder (Olsson, 2011).

Modellen innehåller två scenarion, ett som beskriver hur det befintliga kombinerade ledningsnätet ser ut i dagsläget och ett scenario där nya områden exploaterats och belastningen från spillvattenförbrukning anslutits till det befintliga ledningsnätet, se tabell 4.

*Tabell 4. Specifikation av komponenter i det befintliga ledningsnätet och det utbyggda tillståndet. En personekvivalent motsvarar ett specifikt spillvattenflöde på 0,2 m<sup>3</sup> per dygn.*

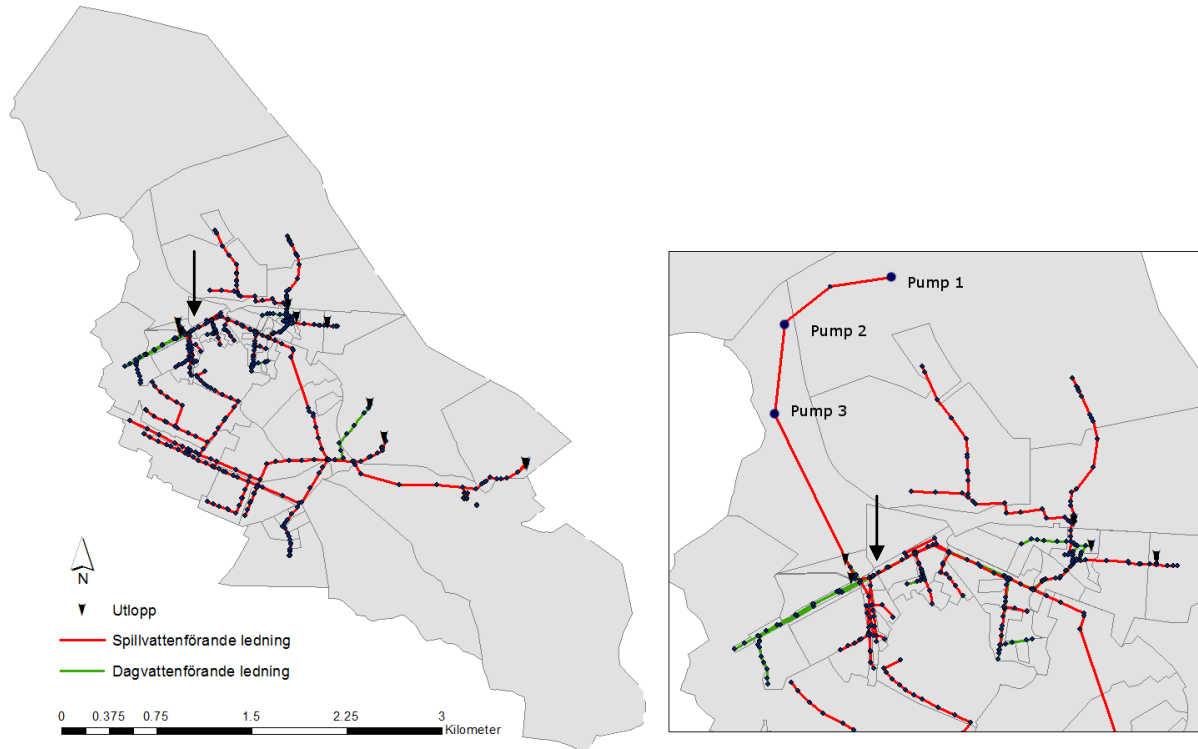
	<b>Befintligt avloppsledningsnät</b>	<b>Utbyggt avloppsledningsnät</b>
Avrinningsområde [ha]	1262	1262
Delområden [st]	96	96
Hårdgjord yta [ha]	98	98
Total ledningslängd [km]	24,1	25,6
Antal bräddavlopp [st]	10	10
Antal pumpar [st]	16	17
Spillvattenavrinning [m <sup>3</sup> /dygn]	8641	11475
Personekvivalenter	43205	57375

Ledningsnätet i de nya områdena är helt separerat och medför endast en ökad belastning av spillvatten i det befintliga avloppssystemet. Därför, som framgår av tabell 4, är ansluten hårdgjord yta densamma i det befintliga och exploaterade tillståndet. De nya områdena bidrar alltså inte till ökad dagvattenavrinning.



### 3.5.1 Exploaterat tillstånd

I scenariot som beskriver det exploaterade tillståndet har tre nya pumpstationer anlagts, och två befintliga tagits ur drift. De nya pumpstationerna har beteckningarna: Pump 1, Pump 2 och Pump 3, och ligger uppströms det befintliga ledningsnätet, se figur 3. Till dessa tre pumpstationer ansluts spillvattnet från de nya områdena, se tabell 5.



Figur 3. Till vänster: Ledningsnätet i sitt ursprungliga tillstånd. Bilden till höger visar avloppsledningsnätet i ett framtida tillstånd. Tre pumpstationer tillkommer som skall pumpa spillvattnet från de nya områdena ner till det befintliga ledningsnätet. Pilen anger var servisledningarna med lägsta anslutningsnivå (+10,20 m) finns anslutna.

Tabell 5. Tillkommande befolkning och motsvarande spillvattenförbrukning. I de nya områdena antogs den specifika spillvattenavrinningen vara 200 liter per person och dygn.

Pumpstation	Lägenheter	Person-ekvivalenter	Medelflöde ( $l s^{-1}$ )
Pump 1	2600	6500	15,1
Pump 2	700	1750	5,4
Pump 3	2150	5375	12,4

### 3.5.2 Vattenförbrukning och förbrukningsmönster

Vattenförbrukningen har delats in i kategorierna Flerfamiljshus innerstad, Villa och Övrigt som fick stå för vattenförbrukningen från industrier, centrum, arbetsplatser och skolor. Störst andel utgör förbrukarkategorin Flerfamiljshus, se figur 4 och tabell 6. Vid beräkningarna användes förbrukningsmönster hämtade ur VA-forskrapport 1994-05 där generella förbrukningsmönster tagits fram för ett antal områden (Nikell, 1994). De förbrukningsmönster som användes var följande:

- Flerfamiljshus innerstad: Fredhäll, medel - vardagar
- Villa: Hässelby Villastad, medel - vardagar
- Övrigt: Farmek, medel - vardagar

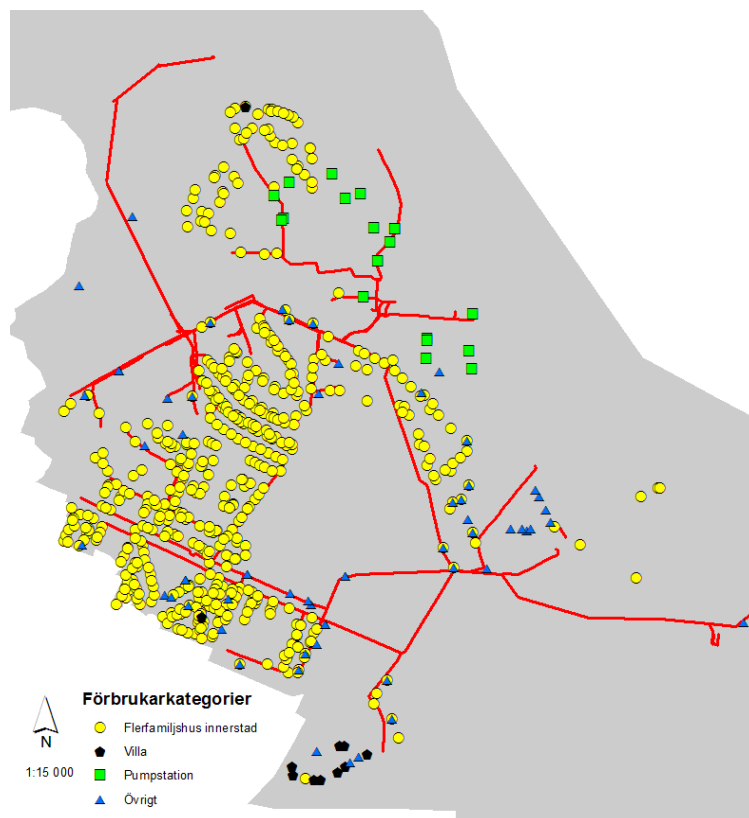
Alla förbrukningsmönster utom Flerfamiljshus innerstad är oförändrade från VA-forskrapport 1994-05, se bilaga B. Förbrukningsmönstret Flerfamiljshus innerstad är reviderat i samband med den senast utförda modellkalibreringen (Olsson, 2011).

Utöver de tre tidigare nämnda förbrukarkategorierna har ytterligare en förbrukarkategori använts. Denna har kallats "Pumpstation" och kan ses i figur 4 som gröna fyrkanter. Anledningen till att denna förbrukarkategori använts är för att vattenförbrukningens dygnsvariation i detta typområde inte stämmer överens med något av de andra typområdena.

Planerad bebyggelse innebär lägenheter och den tillkommande befolkningen har därför givits samma förbrukningsmönster som förbrukarkategorin Flerfamiljshus innerstad.

Tabell 6. Förbrukarkategoriernas andel (%) av den totala vattenförbrukningen i området.

<b>Förbrukarkategori</b>	<b>Andel av total vattenförbrukning i befintligt tillstånd (%)</b>	<b>Andel av total vattenförbrukning i exploaterat tillstånd (%)</b>
Flerfamiljshus innerstad	62,8	71,6
Villa	0,20	0,15
Övrigt	15,9	12,1
Pumpstation	21,1	16,1



Figur 4. Huvuddelen av vattenförbrukningen i modellområdet beskrivs som kategorin Flerfamiljshus innerstad och markeras med gula cirklar i figuren. Svarta femkanter står för vattenförbrukning motsvarande kategorin Villa, gröna fyrkanter representerar Pumpstation och blå trianglar motsvarar övrig förbrukning.

### 3.5.3 Beskrivning av scenarier

I detta avsnitt beskrivs vilka dimensioneringskriterier som använts vid torrvädersberäkning i modellområdets befintliga tillstånd och de tre underscenarier som skapades av modellområdets exploaterade tillstånd.

#### Referens

Detta scenario beskrev modellområdets befintliga tillstånd. Torrvädersberäkningar utfördes med olika maxdygnsfaktorer beroende på förbrukarkategori, se tabell 7.

Tabell 7. Förbrukarkategori och den maxdygnsfaktor som användes vid torrvädersberäkning i modellområdets befintliga tillstånd.

Förbrukarkategori	Maxdygnsfaktor
Flerfamiljshus innerstad	1,7
Villa	1,7
Övrigt	2,04 (mån-fre)
	0,85 (lör-sön)
Pumpstation	0,5

Vid regnvädersberäkningar gavs förbrukarkategori Övrigt maxdygnsfaktor 1,2 på vardagar och 0,5 på helgen vilket gav ett veckomedelvärde på 1.

## Låg

I detta scenario användes de lägsta maxtim- och maxdygnsfaktorerna som anges i Svenskt Vattens skrift P90 för områden med fler än 3000 anslutna personer, se tabell 2. Förbrukningsmönstret som användes för den tillkommande befolkningen skalades om så att maxtimfaktorn var 1,4. De övriga timfaktorerna valdes så att förbrukningsmönstret behöll sin huvudsakliga form och timmedelvärdet var lika med 1, se tabell C2 i bilaga C. Maxdygnsfaktor i detta scenario valdes till 1,3 enligt tabell 2.

## Medel

Detta scenario innebar en medelhög dimensionering och de maxtim- och maxdygnsfaktorerna som användes ligger båda i mitten av det spann som anges i Svenskt Vattens skrift P90. Förbrukningsmönstret som användes för den tillkommande befolkningen hade således maxtimfaktor 2,1 och maxdygnsfaktor var 1,7.

## Hög

I detta scenario skalades förbrukningsmönstret för den tillkommande befolkningen om så att maxtimfaktor var 2,7. Detta är den största maxtimfaktor som anges i Svenskt Vattens skrift P90. Omskalningen av mönstret gick till som beskrivet i scenario *Låg*. I detta scenario valdes maxdygnsfaktor till 2,1 för den tillkommande befolkningen vilket är den största maxdygnsfaktorn som anges i Svenskt Vattens skrift P90. Multiplicerat med varandra blev maxtimfaktor och maxdygnsfaktor 5,67.

### 3.5.4 Pumpstationer

Pumparnas kapacitet valdes efter dimensionerande flöde,  $q_{dim}$ , se kolumnen med samma namn i tabell 8. Detta flöde motsvarar maxdygn-maxtimmesflödet multiplicerat med en säkerhetsfaktor 1,5.

Tabell 8. Flödet vid maximal tim- och dygnsförbrukning,  $q_{max}$ , och det flöde för vilket pumparna i varje scenario dimensioneras,  $q_{dim}$ .

Pumpstation	Låg		Medel		Hög	
	$q_{max}$ (l/s)	$q_{dim}$ (l/s)	$q_{max}$ (l/s)	$q_{dim}$ (l/s)	$q_{max}$ (l/s)	$q_{dim}$ (l/s)
Pump 1	27,5	41,3	53,9	80,9	85,3	127,9
Pump 2	9,9	14,7	19,2	28,8	30,4	45,6
Pump 3	22,6	33,9	44,3	66,5	70,5	105,8

Pump 1 dimensionerades endast för det flöde som anslöt direkt till pumpstationen, Pump 2 dimensionerades för flödet som anslöt direkt till pumpstationen samt flödet från Pump 1, Pump 3 dimensionerades för dimensionerande flöde och ackumulerat flöde från Pump 1 och 2, se tabell 9.

Tabell 9. Tabellen visar pumpkapaciteten hos respektive pumpstation.

Pumpstation	Pumpkapacitet [l/s]		
	Låg	Medel	Hög
Pump 1	41,3	80,9	127,9
Pump 2	56,0	109,7	173,5
Pump 3	89,9	176,2	279,3

### 3.6 DIMENSIONERINGSUNDERSÖKNING

Vid undersökningarna fanns två huvudsakliga förutsättningar. Dessa var att bräddning inte fick förekomma vid torrväder, och vid regnväder fick bräddningen i det utbyggda tillståndet inte öka i förhållande till ledningsnätets befintliga tillstånd. Inga åtgärder gjordes för att minska företeelser såsom marköversvämning som skedde redan i modellens ursprungliga tillstånd. Hänsyn togs endast till ökad bräddning i förhållande till ursprungstillståndet.

#### 3.6.1 Torrvädersdimensionering

Initialt utfördes en torrvädersberäkning med varje scenario som endast tog hänsyn till avrinningen från spillvatten. Torrvädersberäkningen utfördes med dimensionerande spillvattenbelastning vilket innebar att spillvattenflödet multiplicerades med respektive scenarier maxtimfaktor och maxdygnsfaktor.

När belastningen från den nya bebyggelsen orsakade stora volymer bräddvatten i ett visst bräddavlopp åtgärdades detta genom att höja bräddens överfall och öka ledningsdimensionen. Bräddnivån höjdes endast till en nivå som låg under den nivå där servisledningarna anslöt till ledningsnätet.

I bräddavlopp där uppgift om anslutande servisledning inte fanns och bräddningen var kortvarig anlades ett fördröjningsmagasin. Det bräddade vattnet pumpades sedan tillbaka till avloppsledningen.

#### 3.6.2 Regnvädersdimensionering

När systemets kapacitet var tillräcklig för att klara spillvattenavrinning utan bräddning utfördes för varje scenario en regnvädersberäkning. Avrinning från regntillfällena i regnserien från Torsgatan simulerades tillsammans med spillvattenavrinningen. Med varje scenario utfördes en simulering av spillvattenavrinningen från medelvattenförbrukning utan veckovariation och en simulering när ett veckomönster av dygnsfaktorer användes för vattenförbrukningen motsvarande förbrukarkategorin Flerfamiljshus innerstad, se tabell 10.

Veckomönstrets utformning grundade sig på en inledande undersökning av hur regntillfällena i regnserien från Torsgatan är fördelade på veckodagar, se bilaga C. Därefter valdes faktorer från 0,6 till respektive scenarios maxdygnsfaktor ut så att medeldygnsfaktorn var lika med ett i varje veckomönster. Dygnsfaktorerna placerades ut på veckodagarna så att faktorer med värde 1 eller större inte följde direkt på varandra. Värdet på den lägsta dygnsfaktorn valdes efter schablonvärdena i Svenskt Vattens skrift P90.

Tabell 10. Dygnsfaktorer som vattenförbrukningen multiplicerades med respektive veckodag. Den maximala dygnsfaktorn för förbrukarkategori Flerfamiljhus innerstad i respektive scenario lades in på måndagar. Den lägsta dygnsfaktor var 0,6 vilket valdes efter schablonvärdena i Svenskt Vattens skrift P90.

	Referens	Låg	Medel	Hög
Måndag	1,7	1,3	1,7	2,1
Tisdag	0,6	0,6	0,6	0,6
Onsdag	1,3	1,2	1,3	1,2
Torsdag	0,9	0,9	0,9	0,7
Fredag	0,6	1,1	0,6	0,6
Lördag	1	1	1	1
Söndag	0,9	0,9	0,9	0,8

Då alla bräddavlopp i modellområdet mynnar i samma recipient utvärderades bräddningen i de undersökta fallen genom total bräddvolym och totalt antal dygn med bräddning för hela systemet.

### 3.6.3 Trycklinjer

Risken för källaröversvämning utvärderades genom simulering med CDS-regn som hade återkomsttider 1, 5, 10 och 20 år. Avrinningen från hårdgjorda ytor simulerades tillsammans med spillvattenavrinning. Dock lades ingen dygnsvariation hos vattenförbrukningen in. Med varje scenario genomfördes en simulering med medelförbrukning och en simulering med dimensionerande förbrukning där vattenförbrukningen multiplicerades med respektive scenarier maxdygnsfaktor och maxtimfaktor.

## 3.7 KLIMATANPASSNING

Avrinningen från den klimatanpassade regnserien som beskrivs under 3.3.4 simulerades tillsammans med spillvattenavrinningen i modellen. För att anpassa ledningssystemet till den framtida nederbördsförändringen utvärderades vilken magasinvolym som behövdes för att inte få ökad bräddning i förhållande till den totala volymen som bräddat under period 0 (år 1984 till 2008) i referensscenariot.

Det bör nämnas att de simulerade perioderna A1B 1 och A1B 2 motsvarar omskalad data från 1984-01-01 till 2007-10-30. Den historiska perioden ”0” är alltså åtta månader längre vilket berodde på att den anpassade temperaturserien som användes inte var lika lång.

## 3.8 KOSTNADSUPPSKATTNING

För de åtgärder som krävdes för att inte försämra kapaciteten i ledningsnätet gjordes en grov uppskattning av anläggningskostnaden. Verkliga kostnader kan vara varierar mycket och uppskattningen gjordes för att få en uppfattning om vad olika val av dimensionering skulle kunna innebära.

- Kostnaden att anlägga ett magasin uppskattas enligt Erlandsson (2010) till 15 000 kr per kubikmeter magasin som krävs.
- Kostnaden att byta avloppsledning i det område som utredningarna avser uppskattades till 10 000 kr per meter ledning (Alsheden & Hammarlund, 2012, muntligen).



## 4 RESULTAT

### 4.1.1 Torrvädersdimensionering

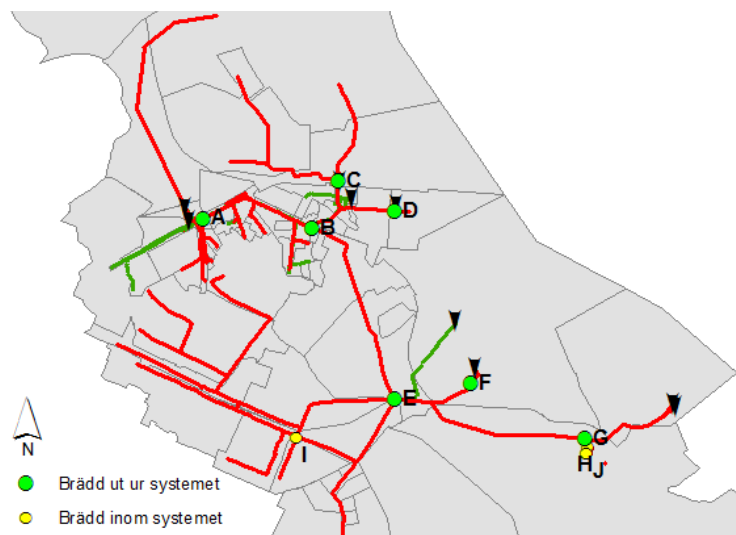
I modellområdets ursprungstillstånd förekom inte bräddning vid torrväder för de angivna maxdygnsfaktorerna och förbrukningsmönstren. Däremot visade simuleringarna av torrväder i ledningsnätets utbyggda tillstånd att det bräddade i punkt A och E i de tre scenarierna, se figur 5. Från A bräddar avloppsvattnet till dagvattenledning ALE95487 och från E bräddar avloppsvattnet till dagvattenledning ALE99075.

Bräddpunkt A ligger direkt nedströms de nya områdena och till punkten ansluter 2841 m<sup>3</sup>/dygn spillvatten och 3,0 ha hårdgjord yta. Bräddpunkt E ligger längre nedströms i ledningssystemet och cirka 10600 m<sup>3</sup>/dygn spillvatten och 36 ha hårdgjord yta ansluter uppströms bräddpunkten.

I A bräddade stora volymer spillvatten i varje scenario, medan bräddningen i punkt E var betydligt mindre och kortvarig, se tabell 11.

Tabell 11. Bräddade volymer vid torrväder i de tre undersökta scenarierna.

Scenario	Bräddvolym [m <sup>3</sup> /dygn]	
	Bräddpunkt A	Bräddpunkt E
Låg	2200	10
Medel	3000	26
Hög	3900	137



Figur 5. Bräddpunkter ut ur systemet är markerade med grön punkt medan bräddpunkter där bräddning sker inom systemet är markerade med gul punkt.

### Åtgärder bräddpunkt A

Nedströms bräddpunkten i A ansluter de två servisledningarna på nivån 10,20 m. Överfallskantens nivå i A var ursprungligen 8,93 m, men höjdes enligt tabell 12 för att bräddningen vid torrväder skulle upphöra.



I scenario Låg behövdes inga ytterligare åtgärder för att bräddning skulle upphöra i punkten vid torrväder.

För både scenario Medel och Hög innebar höjningen av bräddnivån att trycklinjen i ledningarna nedströms bräddavloppet steg över hjässan, se figur 6. I scenario Hög behövde bräddnivån höjas till +10,20 för att bräddningen vid torrväder skulle upphöra. Eftersom servisledningarna nedströms anslöt på denna nivå antogs att bräddnivån i scenario Hög inte kunde ligga på samma nivå utan denna sänktes till samma nivå som i scenario Medel. Denna höjning var dock inte tillräcklig för att bräddningen skulle upphöra. För att få bräddningen att upphöra och även sänka den höga trycklinjen ökades ledningsdimensionen i scenario Medel och Hög enligt tabell13, se även figur D1 och D2 i bilaga D.

Tabell 12. Bräddavloppets överfallsnivå i punkt A i det ursprungliga tillståndet, referens, och efter höjning för att undvika bräddning vid torrväder.

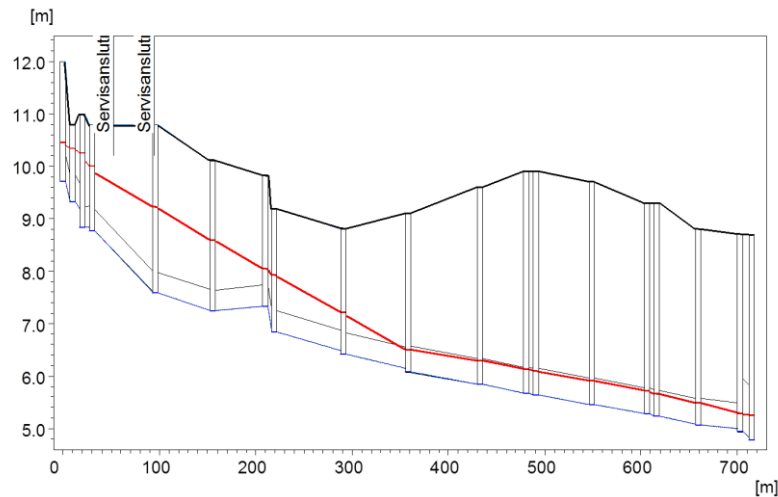
Scenario	Bräddnivå (bräddpunkt A)
Referens	+8,93 m
Låg	+9,30 m
Medel	+9,70 m
Hög	+9,70* m

\*Behöver höjas till +10,20 men det går inte med hänsyn till serviser

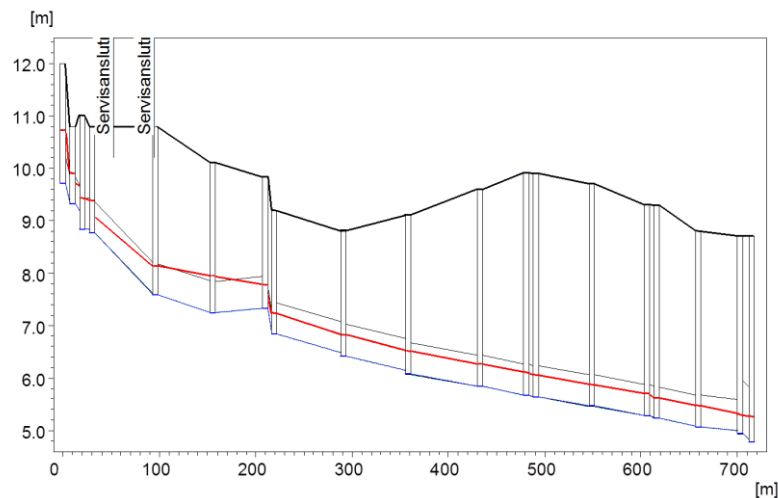
Tabell 13. Den sträcka ledning vars dimension ökades för att sänka trycklinjen i scenario Medel och Hög vid torrväder samt för att undvika bräddning vid torrväder i scenario Hög.

Scenario	Ökning av ledningsdimension		Total ledningssträcka [m]
	400 – 500 mm	500 – 600 mm	
Medel	140 m		140
Hög	270 m	400 m	670

Ledningen vars diameter ökades sträcker sig längs med Lidingövägen och vidare längs med Tegeluddsvägen. Efter att ledningens dimension ökats låg trycklinjen i scenario Hög inte över ledningshjässan längre, se figur 7.



Figur 6. Trycklinjen, röd, vid torrväder i scenario Hög när bräddnivån höjdes utan att ledningsdimensionen ökades. Den bredare svarta linjen visar marknivå, de två tunnare linjerna markerar ledningens hjässa respektive vattengång och de lodräta linjerna markerar brunnarnas placering.



Figur 7. Trycklinjen i scenario hög när ledningsdimensionen på ca 670 meter ledningssträcka ökats till 600 mm. I sektionen med bakfall accepterades att trycklinjen steg över ledningshjässan. Den bredare svarta linjen visar marknivå, de två tunnare linjerna markerar ledningens hjässa respektive vattengång och de lodräta linjerna markerar brunnarnas placering.

### Åtgärder bräddpunkt E

De volymer som bräddade under ett dygn i bräddpunkt E, se figur 5, kunde hanteras med ett mindre magasin. En pump sattes in i den dagvattenbrunn, DNB32731, dit brädden ledde, som pumpade det bräddade avloppsvattnet tillbaka till punkt E. Botten på brunn DNB32731 sänktes med 2,2 meter och diametern ökades så att brunnens volym rymde den dagliga bräddvolymen vid torrväder i respektive scenario, se tabell 14. Dimensionering och utformning av magasinet i respektive scenario kan ses i bilaga E.

Tabell 14. Magasinsvolym som behövdes i respektive scenario.

Scenario	Magasinsvolym [m <sup>3</sup> ]
Låg	10
Medel	26
Hög	142

#### 4.1.2 Regnvädersdimensionering

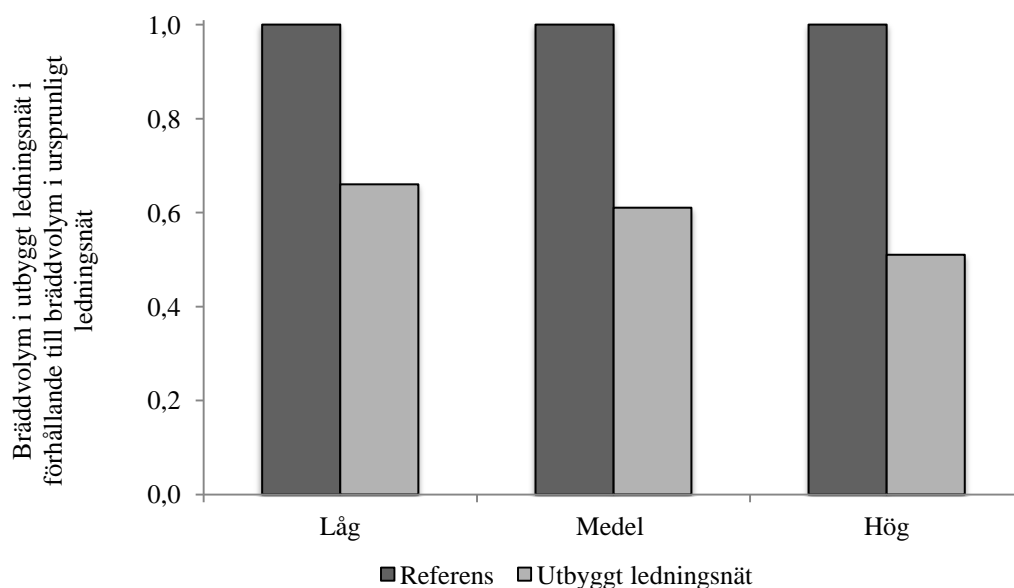
Regnvädersberäkningarna visade att bräddningen i det utbyggda ledningsnätet, efter att åtgärderna beskrivna i 4.1.1. satts in, minskade i förhållande till ursprungsläget för alla tre undersökta scenarier, se tabell 15. Endast bräddavlopp där avloppsvatten bräddar ut ur systemet, se figur 5, har tagits med i sammanställningen.

Tabell 15. Bräddad volym och antal dygn med bräddning referensscenariot och de tre undersökta fallen med olika dimensionerande spillvattenavrinning från de nya områdena.

Bräddpunkt	Referens		Låg		Medel		Hög	
	antal dygn	volym (m <sup>3</sup> )	antal dygn	volym (m <sup>3</sup> )	antal dygn	volym (m <sup>3</sup> )	antal dygn	volym (m <sup>3</sup> )
A	1188	133749	1208	41075	428	25166	40	9087
C	555	27192	555	27192	555	27192	555	27192
E	988	112992	221	111265	204	111850	133	98992
F	65	5592	65	5592	65	5592	65	5592
G	1	706	1	776	1	781	1	773
Totalt	2797	280231	2050	185900	1253	170581	794	141636

I bräddpunkterna C och F påverkades inte bräddningen av den nya befolkningen. Inget scenario gav bräddning i punkt B.

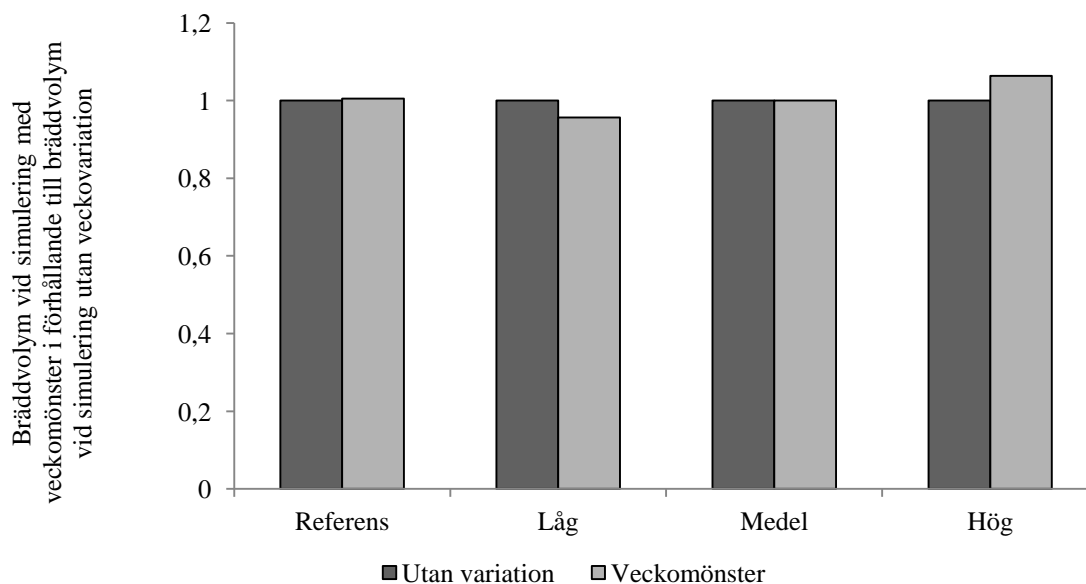
Den största minskningen av bräddvolym erhölls med scenario Hög där den bräddade volymen minskade med 49 procent i förhållande till referensscenariot, se figur 8. I scenario Låg ökade antal bräddtillfällen med volymer mellan 0 och 20 m<sup>3</sup> med cirka 2000 tillfällen i jämförelse med referensen, i övriga scenarier minskade de små bräddtillfällena.



Figur 8. Bräddvolym i respektive scenario av det utbyggda ledningsnätet, i förhållande till bräddvolym i ledningsnätets ursprungliga tillstånd (Referens). I scenario Låg, Medel och Hög har det ursprungliga ledningsnätet anpassats så att den tillkommande spillvattenbelastningen inte orsakade torrvädersbräddning.

### Veckomönster

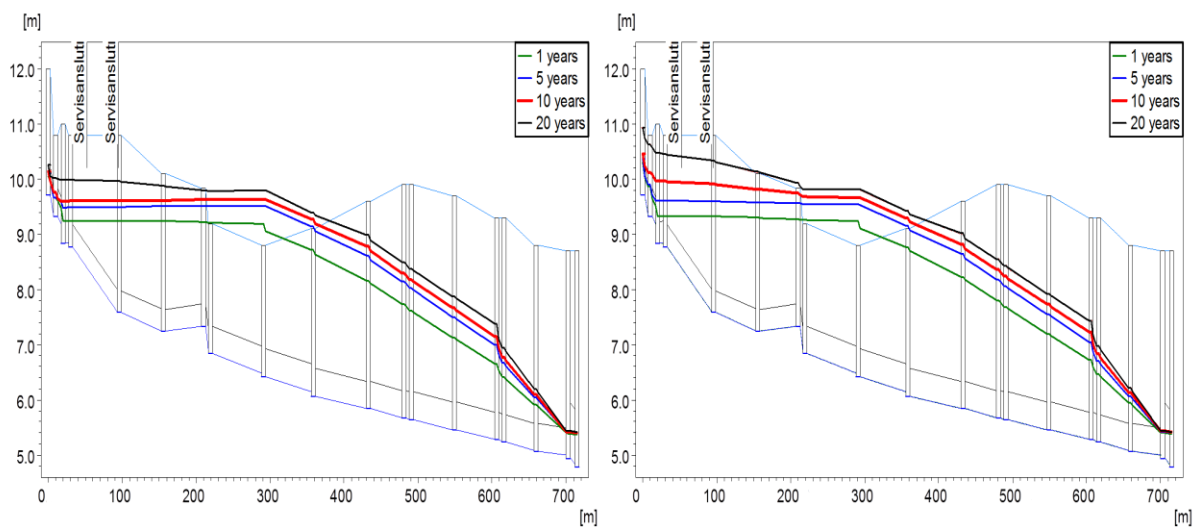
Jämförelse mellan bräddvolymerna vid simulering utan variation respektive med veckovariation hos vattenförbrukningen följde inte någon trend, se figur 9. Skillnaderna i bräddvolym mellan de två fallen var inte stora och i scenario Medel var skillnaden obefintlig.



Figur 9. Staplarna visar bräddvolym vid simulering med veckomönster i förhållande till bräddvolym vid simulering utan veckovariation. I Referens (ledningsnätets ursprungliga tillstånd) och scenario Hög gav simulering med veckomönstret av dygnsfaktorer större bräddvolym än utan veckovariation. I Låg gällde det omvända förhållandet och i scenario Medel var det ingen skillnad mellan de två fallen.

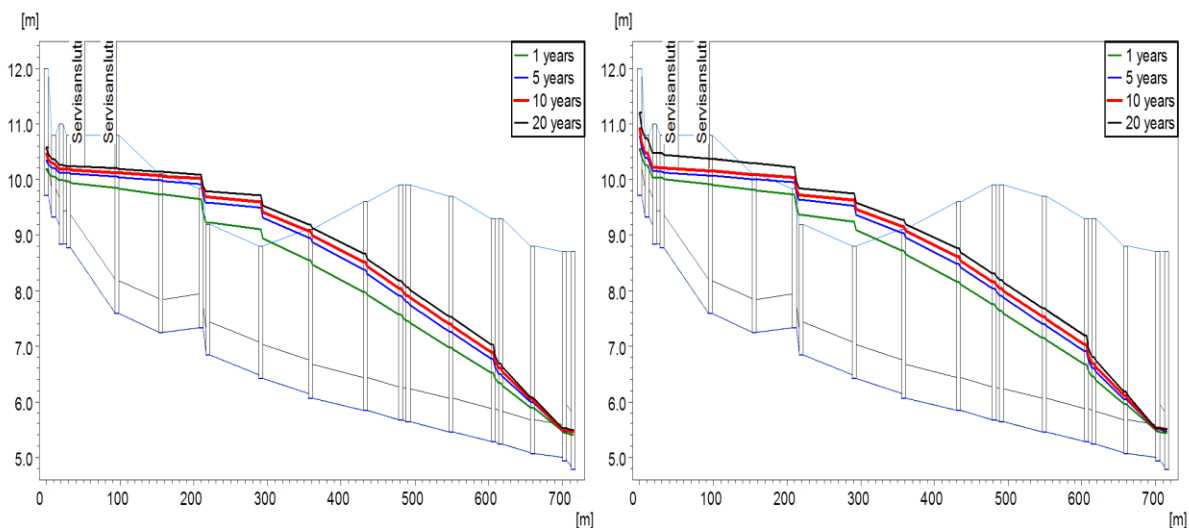
### 4.1.3 Trycklinjer

Simuleringarna med CDS-regn visade att trycklinjen för 10-årsregnet låg under anslutande servisledning i alla scenarier, däremot varierade säkerhetsmarginalen. I ursprungstillståndet låg trycklinjen vid dimensionerande spillvattenavrinning och 10-årsregn 40 cm under anslutande servisledning, se figur F1 i bilaga F. Samma säkerhetsmarginal erhöles i Låg både vid medel- och dimensionerande spillvattenavrinning, se figur F2 i bilaga F. I scenario Medel var däremot skillnaden större mellan trycklinjernas nivå vid medel respektive dimensionerande spillvattenavrinning, se figur 10. Vid medelförbrukning låg trycklinjen vid 10-årsregnet 60 cm under anslutande servisledningar, medan den vid dimensionerande spillvattenavrinning låg endast 20 cm under anslutningsnivån.



Figur 10. Trycklinjerna till vänster motsvarar avrinning från medelförbrukning av vatten och CDS-regn med återkomsttid 1, 5, 10 och 20 år i scenario Medel. Figuren till höger motsvarar dimensionerande spillvattenavrinning och CDS-regn i samma scenario. Bräddavloppets överfall har höjts och ledningsdimensionen har ökat för att reducera torrvedersbräddning. Den röda linjen är trycklinjen vid ett 10-årsregn och visar att risken för källaröversvämning ökar vid maximal spillvattenavrinning. Lodräta linjer markerar brunnarnas placering och de tunna nedersta linjerna markerar ledningens vattengång respektive hjässa. Den tunna blå linjen som förbinder brunnarna markerar marknivån.

I scenario Hög låg trycklinjen för 10-årsregnet och anslutande servisledningar på samma nivå vid både medel och dimensionerande spillvattenavrinning, se figur 11. Detta medför risk för källaröversvämning vid ett 10-årsregn.



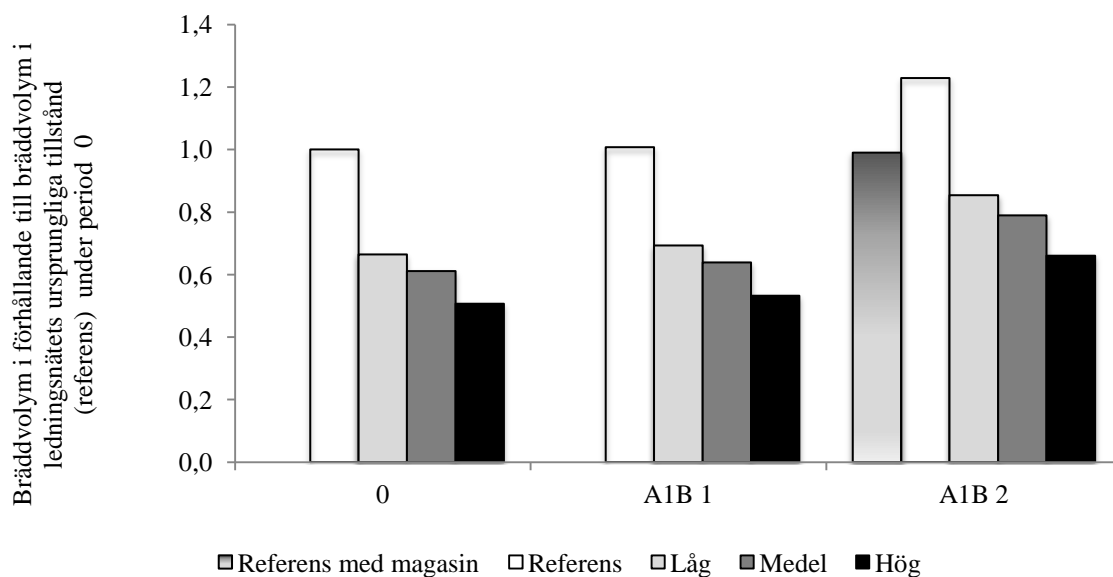
Figur 11. Trycklinjerna till vänster motsvarar avrinning från medelförbrukning av vatten och CDS-regn med återkomsttid 1, 5, 10 och 20 år i scenario Hög. Figuren till höger motsvarar spillvattenavrinning från dimensionerande vattenförbrukning och CDS-regn i samma scenario. Bräddavloppets överfall har höjts och ledningsdimensionen har ökats för att reducera torrvädersbräddning. Skillnaderna mellan trycklinjerna för de fyra återkomsttiderna märks mest på 20-årsregnet. När ledningen belastades med avrinningen från maximal vattenförbrukning låg trycklinjen för 10-årsregnet och servisledningens anslutning på samma nivå. Detta medför risk för översvämning. Lodräta linjer markerar brunnarnas placering och de tunna nedersta linjerna markerar ledningens vattengång respektive hjässa. Den tunna blå linjen som förbinder brunnarna markerar marknivån.

## 4.2 KLIMATANPASSNING

Simulering med de klimatanpassade regnserierna visade att bräddningen ökade under period A1B 1 (2011-2040) och A1B 2 (2041-2070). Bräddvolymerna under period A1B 1 skilde dock lite från de volymer som erhöles under period 0, se bilaga G. Som stapeldiagrammet i figur 12 visar blev bräddvolymerna i de tre scenarierna med det utbyggda ledningsnätet aldrig större än i referensscenariot. Däremot ökade bräddvolymerna i referensscenariot under de framtida perioderna.

Bräddad volym i referensscenariot ökade med 0,8 procent under den simulerade tidsperioden A1B 1 i förhållande till perioden 0. Denna knappa ökning antogs ligga inom felmarginalen för beräkningarna trots att den framtida tidsperioden var något kortare än den historiska. Risken att någon extrem ökning av bräddvolymen skulle ske under de månader som skiljer periodernas längd åt antogs vara liten och någon åtgärd för att öka kapaciteten i ledningsnätet inför framtida klimatförändringar gjordes inte under perioden A1B 1. Under den simulerade perioden A1B 2 ökade den totala bräddvolymen med omkring 19 procent, vilket motsvarade cirka 64 000 m<sup>3</sup>.

Genom att anlägga ett magasin på 300 m<sup>3</sup> till vilket avloppsvatten från bräddpunkt E bräddade minskade den bräddade volymen under perioden A1B 2 till 277 400 m<sup>3</sup>, vilket kan jämföras med de 280 200 m<sup>3</sup> avloppsvatten som bräddade under period 0, se figur 12.



Figur 12. Staplarna visar förändrad bräddvolym i förhållande till bräddad volym i referenstillståndet under period 0. Simuleringarna med de klimatanpassade regnserierna visade att den totala bräddningen inte ökade i scenarierna med det utbyggda ledningsnätet i förhållande till dess ursprungliga tillstånd. Den tonade stapeln under period A1B 2 representerar bräddning med ett fördröjningsmagasin på 300 m<sup>3</sup> i referenstillståndet.

### 4.3 KOSTNADSUPPSKATTNING

Av tabell 16 framgår att den höga dimensioneringen skulle medföra störst anläggningskostnader för åtgärder. I ledningsnätets ursprungliga tillstånd skulle en klimatanpassning i form av ett magasin på 300 m<sup>3</sup> behövas för att ledningsnätets kapacitet skall bibehållas i framtiden. Uppskattningsvis skulle anläggningskostnaden för detta magasin vara 4,5 miljoner. Denna åtgärd blev inte nödvändig när ledningsnätet anpassats för att klara den tillkommande spillvattenbelastningen.

Tabell 16. Sammanställning av uppskattad kostnad för de åtgärder som blev nödvändiga i de olika scenarierna.

Scenario	Ledning [1000 kr]	Magasin [1000 kr]	Totalt [1000 kr]
Låg	-	150	150
Medel	1400	390	1790
Hög	6700	2130	8830

## **5 DISKUSSION**

### **5.1 DIMENSIONERANDE BELASTNING**

Kriteriet att bräddning inte fick förekomma vid torrväder och dimensionerande spillvattenavrinning gjorde att de åtgärder som utformades var tillräckliga även för att bräddningen inte skulle öka vid regnväder. Detta visar att ett område som motsvarar ett så stort antal personekvivalenter som i det studerade fallet, kan generera spillvattenflöden som dominerar över dagvattenflödet. Hur stort dagvattenflödet blir beror dock av den yta som deltar i avrinningen. För att finna några generella samband om när spillvattenavrinningen blir dimensionerande skulle vidare undersökningar av flera områden med en annan fördelning mellan spillvattenavrinning och hårdgjord yta behövas.

Studien visar att det är lämpligt att liknande undersökningar inleds med en utredning huruvida den dimensionerande spillvattenavrinningen vid torrväder orsakar bräddning. Eftersom bräddning vid torrväder innebär att utspätt spillvatten leds orenat ut i recipient är denna typ av bräddning viktig att åtgärda. Bräddning vid regnväder sker oftast i flera punkter och den totala volymen kan minskas genom en större åtgärd i en punkt. Bräddning vid torrväder uppstår ofta i en eller två överbelastade punkter som var och en måste åtgärdas. Inleds kapacitetsundersökningen av ledningsnätet med beräkning av bräddvolymen vid medelvattenförbrukning och regnväder kan en åtgärd som minskar den totala bräddningen utformas och problemet anses löst. Om undersökningen stannar där riskeras dock att eventuell torrvädersbräddning inte upptäcks.

En jämförelse mellan de tre scenarierna av det utbyggda ledningsnätet visar att bräddvolymen minskade minst i scenario Låg där dimensioneringen av åtgärder gjorts efter de lägsta maxtim- och maxdygnsfaktorerna som anges i Svenskt Vattens skrift P90. Detta gällde framför allt i bräddpunkt A, se tabell 15. Anledningen var att bräddavloppets skibord inte behövde höjas lika mycket i detta scenario för att torrvädersbräddningen skulle upphöra. Redan små regn orsakade därför bräddning vilket kunde ses genom att antalet bräddtillfällen med små volymer var fler i scenario Låg jämfört med i de övriga scenarierna. Avloppsvattnet som bräddar vid ett litet regn har en högre koncentration av föroreningar och bakterier jämfört med avloppsvattnet som bräddar vid ett större regn. Dock kan den totala mängden föroreningar och bakterier som kommer ut i recipienten vara lika stor i båda fallen. Om utformningen av bräddavloppet gör att bräddning sker redan vid små regn blir dock bräddningen mer frekvent och den totala belastningen på recipienten blir högre än om den sammanlagda bräddvolymen orsakats av ett fåtal bräddtillfällen med stora volymer.

### **5.2 KLIMATANPASSNING**

Simuleringarna med de klimatanpassade regnserierna visade att bräddningen ökade mest i ledningsnätets ursprungstillstånd, se figur 12. De åtgärder som gjordes för att minska bräddningen vid torrväder i de tre scenarierna av det utbyggda ledningsnätet medförde att detta även blev bättre rustat inför kommande klimatförändringar. Detta visar att ledningsnät indirekt kan anpassas för att klara förändrad nederbörd med högre intensiteter genom den anpassning som sker vid nybyggnationer.



Den regnserie som användes var omskalad efter ett medelscenario med avseende på bland annat befolkningsutveckling och utsläpp av växthusgaser. Det hade varit intressant att även simulera avrinningen från de två regnserierna anpassade efter IPCC:s scenarier B2 och A2 för att se flera tänkbara fall som klimatförändringarna kan ge upphov till.

Vid utvärderingen av framtida klimats påverkan på avloppssystemet togs ingen hänsyn till att befolkningen med största sannolikhet kommer att öka. Detta kommer att innebära en ökad belastning av spillvatten vid torrväder. Ytterligare undersökningar där även denna variabel förändrades skulle ge ett mer sannolikt resultat. Troligtvis skulle ytterligare åtgärder behövas redan vid torrväder och dessa skulle kunna göra att risken för bräddning minskar även vid ökad nederbörd. Enligt tidigare studier av framtida flödesbelastning på Stockholms avloppsledningsnät har dock befolkningsökningen mindre betydelse på bräddvolym. Olsson m.fl. (2010) visar att vid en befolkningsökning på 25 procent ökar bräddvolymerna till Mälaren och Saltsjön endast med 5 procent.

De simuleringar som gjordes av det framtida klimatets påverkan på avloppssystemet omfattade en något kortare period än simuleringen av den historiska perioden. Simuleringarna är alltså inte helt jämförbara, dock handlar det endast om åtta månader under 22 utvärderade år vilket antas vara en försumbar skillnad.

### **5.3 ÅTGÄRDER OCH KOSTNADER**

Dimensioneringen av ledningssystem skall väljas på ett optimalt sätt både ur teknisk och ur ekonomisk synvinkel. Skadeståndskostnader som VA-huvudmannen kan bli skyldig de drabbade av källaröversvämning måste vägas mot vad en viss dimensionering av åtgärd kostar och vilken säkerhetsmarginal denna ger.

En jämförelse mellan de kostnader för åtgärder som de tre scenarierna skulle kunna innebära visar att kostnaderna stiger med ökande maxtims- och maxdygnsfaktorer, vilket kan tyckas vara ett självklart resultat. Däremot skulle en torrvädersdimensionering med låga maxtim- och maxdygnsfaktorer kunna innebära att åtgärder även krävs vid regnväder vilket skulle innebära ytterligare kostnader. I denna studie innebar torrvädersdimensioneringen att ingen regnvädersdimensionering behövdes i något scenario, dock visar den procentuella minskningen av bräddvolym i scenario Låg, se figur 8, att säkerhetsmarginalen vid regnväder var lägre i detta scenario. Med de förutsättningar som gällde i det studerade ledningsnätet och scenario Låg hade bräddnivån kunnat höjas till samma nivå som i de två andra scenarierna. Detta skulle antagligen leda till att bräddningen vid regnväder minskade ytterligare och framför allt de tillfällena med små volymer, men hade även kunnat innebära att dimensionen på ledningen nedströms bräddpunkt A hade behövt höjas. Denna åtgärd och kostnad borde dock inte bli större än i scenario Medel.

De nya områdena som skall byggas i det studerade fallet motsvarar cirka 13 000 personekvivalenter. Detta talar för att lägre maxtim- och maxdygnsfaktorer kan vara rimliga vid dimensioneringen eftersom faktorerna generellt är lägre i områden med ett stort antal anslutna personer. För att avgöra vilket val av maxtim- och maxdygnsfaktorer som är mest rimligt skulle en analys av vattenförbrukningen under längre perioder i ett flertal områden, både med ett mindre och större antal anslutna personer, vara lämplig. Erhålls data för den

specifika vattenförbrukningen med tim-upplösning och ledningsnätsläckage kan maxtim- och maxdygnsfaktorer bestämmas för att sedan användas för en rimlighetsbedömning vid dimensionering.

I det studerade ledningsnätet visade sig risken för källaröversvämning vara liten både i det ursprungliga och i det utbyggda tillståndet. I scenario Hög låg dock dämningnivån vid 10-årsregnet på samma nivå som servisanslutningarna. Däremot visar figur 11 att trycklinjerna vid 10- och 20-årsregnen låg på samma nivå vilket visar att kapaciteten räcker för regn med längre återkomsttider än 10 år. En säkerhetsmarginal på 50 cm skulle göra att systemet klarar mycket stora regn utan källaröversvämning. Detta är dock inte ett nödvändigt kriterium enligt de svenska riktlinjerna, vilket motiverar att inga ytterligare åtgärder krävs i detta scenario.

Hade uppgifter funnits om anslutande nivå för servisledningar vid bräddpunkt E hade bräddnivån kunnat höjas för att reducera torrvädersbräddning. Detta hade varit en smidigare och mindre kostsam åtgärd än ett fördröjningsmagasin.

De åtgärder som tillämpades i detta examensarbete är förenklade och i praktiken skulle antagligen mer kostnadseffektiva och smidiga lösningar studeras. I Erlandssons studie (2010) av kostnadseffektiva VA-åtgärder vid överbelastningsproblem rekommenderas utjämningsmagasin som en åtgärd med positiva effekter på miljön och, relativt sett, låga kostnader. Erlandssons studie bygger dock på undersökningar av ledningsnätet i ett annat område med andra förutsättningar än ledningsnätet i Hjorthagen.

Stockholm Vatten har utrett lösningen att öka kapaciteten i det kombinerade ledningssystemet i Hjorthagen genom att korskoppla dag- och spillvattenledningarna längs samma sträcka som ledningsbytet skedde i scenario Hög (Olsson, 2011). Denna lösning användes dock inte i examensarbetet eftersom den ansågs väl avancerad och platsspecifik för att kunna åskådliggöra hur kostnader och säkerhetsmarginal följer dimensioneringen för maximal spillvattenavrinning.

Modellen har kalibrerats med gott resultat i samband med tidigare undersökningar och kan anses beskriva flöden och nivåer i det verkliga ledningsnätet. Beräknade nivåer och bräddvolym antas därför ha tillfredställande noggrannhet. En osäkerhet i undersökningen finns dock i uppgifterna om det tillkommande spillvattenflödet.

För den befintliga bebyggelsen baserades spillvattenflödet i modellen på uppgifter om vattenförbrukningen i området. Den tillkommande spillvattenbelastningen grundades däremot på uppgifter om antalet planerade bostäder och antaganden om antalet tillkommande anslutna personer och den specifika spillvattenavrinningen från dessa. Hur förhållandena i det framtida området slutligen kommer att se ut kan skilja sig från vad som antagits i denna undersökning.

## **5.4 VECKOMÖNSTER**

Skillnaden i bräddvolym mellan de simuleringar där vattenförbrukningen beskrevs med veckomönster respektive utan variation var inte stora. Något mönster som tydde på att simulering utan veckomönster generellt skulle ge lägre bräddvolym kunde inte ses.

I undersökningen simulerades endast vattenförbrukningen motsvarande förbrukarkategori Flerfamiljshus med veckomönster vilket kan vara en anledning till att skillnaderna inte var större än, som maximalt, sex procent i scenario Hög. Vidare undersökningar med flera varianter av veckomönster med annan fördelning av dygnsfaktorerna och där vattenförbrukningen från alla förbrukarkategorier simuleras med veckomönster skulle behövas för att med säkerhet avgöra om veckovariation bör användas för att beräkna bräddvolymen på ett så korrekt sätt som möjligt. Är skillnaderna inte större än vad undersökningarna i denna studie visade bör arbetsbördan att lägga in veckomönster i modelleringsprogrammet utvärderas mot om den knappa skillnaden överhuvudtaget påverkar de åtgärder och kostnader som behövs.

## 6 SLUTSATS

Påverkan av dimensionerande spillvattenflöde från ett nytt separatsystem som ansluts till ett kombinerat ledningssystem undersöktes. Utvärderingen gjordes med hjälp av MIKE Urban och resultaten visade att:

- Den tillkommande spillvattenbelastningen från de planerade områdena innebar att bräddning skedde redan vid torrväder i det kombinerade ledningsnätet. De åtgärder som krävdes för att denna bräddning skulle upphöra resulterade även i att bräddningen vid regnväder minskade i det utbyggda ledningsnätet i jämförelse med ursprungstillståndet.
- Dimensionering med höga maxtim- och maxdygnsfaktorer ger större säkerhetsmarginal, men medför omfattande åtgärder med höga anläggningskostnader.
- Görs en anpassning av det befintliga ledningsnätet, för att bibehålla kapaciteten när nya områden ansluts, visar de undersökningar som gjorts i detta examensarbete att ingen ytterligare klimatanpassning behövs.
- I de fyra fall som undersöktes kunde ingen trend ses som visade att simulering av dag- och spillvattenavrinning utan att ta hänsyn till veckovariationer i vattenförbrukningen, skulle ge för låga bräddvolymer.



## 7 REFERENSER

- Bäckman, H. (1984) *Avloppsledning i svenska tätorter i ett historiskt perspektiv*, Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 1984
- Chalmers Tekniska Högskola (1995) *VA-ledningsteknik Kompendium*, VA-teknik Chalmers, Institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 1995
- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. (1988) *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, Singapore  
ISBN: 0-07-010810-2
- Dahlström, B. (2006) *Regnintensitet i Sverige – en klimatologisk analys*, VA-FORSK Rapport Nr 2006-26, [Elektronisk] Tillgänglig via: [http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk\\_2006-26.pdf](http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk_2006-26.pdf)  
[Hämtad: 2012-06-05]
- DHI (2011a) *Collection System Manual* för MIKE Urban, (sparas på datorn som pdf-fil när programmet installeras), DHI 2011  
Kan beställas från: [DHI@dhigroup.com](mailto:DHI@dhigroup.com)
- DHI (2011b) *Model Manager Manual* för MIKE Urban, (sparas på datorn som pdf-fil när programmet installeras), DHI 2011
- DHI (2011c) *MOUSE Pipe flow*, Manual för MIKE Urban, (sparas på datorn som pdf-fil när programmet installeras), DHI 2011
- DHI (2012a) *MOUSE LTS User guide* [Elektronisk] Tillgänglig via:  
[http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document\\_public/Project/Manuals/US/MOUSE\\_LTS\\_UserGuide.pdf](http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document_public/Project/Manuals/US/MOUSE_LTS_UserGuide.pdf) [Hämtad: 2012-05-04]
- DHI (2012b) *Återkomsttid och Z-värden* [Elektronisk] Tillgänglig via:  
<http://www.dhi.se/Solutions/WaterUtilities/Regnbearbetning/VerktygAaterkomsttid/OmAaterkomsttidOchZVaarden.aspx> [Hämtad: 2012-05-14]
- EPA (2012a) *Report to Congress: Impacts and Control of CSOs and SSOs*, Kapitel 8. [Elektronisk] Tillgänglig via: [http://cfpub.epa.gov/npdes/cso/cpolicy\\_report2004.cfm](http://cfpub.epa.gov/npdes/cso/cpolicy_report2004.cfm)  
[Hämtad: 2012-03-18]
- EPA (2012b) Nedladdning av SWMM. [Elektronisk] Tillgänglig via:  
<http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/#Downloads> [Hämtad: 2012-02-03]
- Erlandsson, M. (2010) *Överbelastningsproblem för avloppsledningsnät och kostnadseffektiva åtgärder - En fallstudie med förenklad hydraulisk modell*, Examensarbete 2010, Institutionen för geovetenskaper, luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala Universitet, ISSN 1401-5765
- Eureka (2012) *Eureka Success Story > E! 2244 RisUrSim Flood Management* [Elektronisk] Tillgänglig via:  
[http://www.eurekanetwork.org/showsuccessstory?p\\_r\\_p\\_564233524\\_articleId=31498&p\\_r\\_p\\_564233524\\_groupId=10137](http://www.eurekanetwork.org/showsuccessstory?p_r_p_564233524_articleId=31498&p_r_p_564233524_groupId=10137) [Hämtad: 2012-03-18]

Fraunhofer (2012) RisUrSim [Elektronisk] Tillgänglig via:  
<http://www.itwm.fraunhofer.de/en/departments/flow-and-material-simulation/hydrodynamics/risursim.html> [Hämtad: 2012-03-18]

Frimodt, K.O. (2008) *Användarvänlighet hos programverktyg för beräkningar av flöden och dämpningsnivåer i avloppsnät*, Examensarbete 2008, Institutionen för geovetenskaper, luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala Universitet  
ISSN: 1401-5765

Granlund, B., Nilsson D. (2000) *Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av avloppsmodeller*, VA-FORSK Rapport 2000-7, VAV AB  
ISBN: 91-89182-44-8

Hernebring, C. (2006) *10års-regnets återkomst, förr och nu – regndata för dimensionering/kontrollberäkning av VA-system i tätorter*, VA-FORSK Rapport 2006-04, Svenskt Vatten AB [Elektronisk] Tillgänglig via: [http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk\\_2006-04.pdf](http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk_2006-04.pdf) [Hämtad: 2012-04-26]

Hernebring, C. (2008) *När regnet kommer – Effektivare utnyttjande av kommunernas nederbördsinformation*, VA-FORSK Rapport Nr 2008-17, Svenskt Vatten AB [Elektronisk] Tillgänglig via: <http://vav.griffel.net/filer/2008-17%20lagupplöst.pdf> [Hämtad: 2012-04-25]

IPCC (2000) *IPCC Special Report Emission Scenarier*, A Special Report of IPCC Working Group III, 2000, Intergovernmental Panel on Climate Change, ISBN: 92-9169-113-5 [Elektronisk] Tillgänglig via: <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf> [Hämtad: 2012-05-05]

Johansson, B. (2002) *Friskt vatten och rena sjöar – Från VAV till Svenskt Vatten 1962 – 2002*, AB C O Ekblad & Co, Västervik

Lagen om allmänna vattentjänster, SFS 2006:412

Meyer, A. (2008) *Modellering av huvudavloppsnätet – Framtagning och uppbyggnad av hydrauliska modeller på huvudavloppssystemet*, Opublicerat manuskript, Stockholm Vatten LU

Miljöbalk, SFS 1998:808

National Encyklopedin Sökord: Sverige  
[Elektronisk] Tillgänglig via: <http://www.ne.se/sverige> [Hämtad: 2012-01-27].

Naturvårdsverket (1993) *Bräddning från avloppsledningar - Kontroll av bräddning och bräddningsmängder*, Allmänna råd 93:6, Song & Co AB, Solna. [Elektronisk] Tillgänglig via: [http://www.naturvardsverket.se/Documents/allmrar/ar\\_93\\_6.pdf](http://www.naturvardsverket.se/Documents/allmrar/ar_93_6.pdf) [Hämtad: 2012-06-21]

Naturvårdsverket (1996) *Avloppsledningar – Att undersöka och förbättra*, Rapport 4656, AB Realtryck, Stockholm.

Nikell, L. (1994) *Vattenförbrukningens dygnsvariation*, VA-forskrapport 1994-04, Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV, Stockholm.

Olsson, A. (2011) *Hjorthagen – Storängsvägen – Lidingövägen – Loudden – Modellberäkningar avseende ledningsnätet, pumpstationer och magasin. Uppdatering av modell, flödesmätningar och kalibrering av modell*, Sweco och Stockholm Vatten AB, Uppdragsnummer 1970203000, version 2, 2011-01-12

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 3, 2010, SMHI, Norrköping [Elektronisk] Tillgänglig via: [http://www.smhi.se/polopoly\\_fs/1.14896!Klimatologi\\_3.pdf](http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.14896!Klimatologi_3.pdf) [Hämtad: 2012-06-21]

Olsson, J., Berggren, K., Olofsson, M., and Viklander, M. (2009) Applying climate model precipitation scenarier for urban hydrological assessment: a case study in Kalmar City, Sweden, *Atmos. Res.*, 92, 364-375. [Elektronisk] Tillgänglig via: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809509000325> [Hämtad: 2012-06-21]

Plan- och bygglagen, SFS 2010:900

Schmitt, T. G., Thomas, M., Ettrich, N. (2004) Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems *Journal of Hydrology* 299 (2004) 300-311 [Elektronisk] Tillgänglig via: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) [Hämtad: 2012-03-18]

Statens VA-nämnd (2012) *Statens VA-nämnd* [Elektronisk] Tillgänglig via: <http://www.vanamnden.se/default.asp> [Hämtad: 2012-06-01]

Stockholm Vatten (2012a) *En stad med en vattenledning*, [Elektronisk] Tillgänglig via: <http://www.stockholmvatten.se/150> [Hämtad: 2012-05-30]

Stockholm Vatten (2012b) *Moderna bekvämligheter*, [Elektronisk] Tillgänglig via: <http://www.stockholmvatten.se/sv/Kranvatten-i-150-ar/Kranvatten-i-150-ar/En-stad-med-en-vattenledning/Moderna-bekvamligheter/> [Hämtad: 2012-03-28]

Svenskt Vatten AB (2001) *Allmänna vattenledningsnät – Anvisningar och utformning, förnyelse och beräkning*, Publikation VAV P83, Mars 2001.

Svenskt Vatten AB (2004) *Dimensionering av allmänna avloppsledningar*, Publikation P90, Ljungföretagen, Utgåva 1, Mars 2004.

Svenskt Vatten AB (2007) *Klimatförändringarnas inverkan på allmänna avloppssystem – Underlagsrapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen*, Meddelande M134 Elanders, Östervåla, Utgåva 1, september 2007. [Elektronisk] Tillgänglig via: <http://www.svensktvatten.se/Documents/Kategorier/Dricksvatten/Rapporter/Svenskt%20Vatten%20Meddelande%20M134%2028September%202007%29.pdf> [Hämtad: 2012-06-21]

Svenskt Vatten AB (2011) *Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem*, Publikation P104, Utgåva 1, augusti 2011



Tillväxtanalys (2011a) *Regional Tillväxt 2010 - en rapport om tillstånd och utveckling i Sveriges FA-regioner*, Myndigheten för tillväxtpolitiska utvärderingar och analyser, Rapport 2011:07 [Elektronisk] Tillgänglig via:  
[http://www.tillvaxtanalys.se/tua/export/sv/filer/publikationer/rapporter/Rapport\\_2011\\_07.pdf](http://www.tillvaxtanalys.se/tua/export/sv/filer/publikationer/rapporter/Rapport_2011_07.pdf)  
[Hämtad: 2012-06-21]

Tillväxtanalys (2011b) *Orter med befolkningsökning - Exempel på "attraktiva orter" perioden 2000-2010*, Myndigheten för tillväxtpolitiska utvärderingar och analyser, Rapport 2011:11 [Elektronisk] Tillgänglig via:  
[http://www.tillvaxtanalys.se/tua/export/sv/filer/publikationer/rapporter/Rapport\\_2011\\_11.pdf](http://www.tillvaxtanalys.se/tua/export/sv/filer/publikationer/rapporter/Rapport_2011_11.pdf)  
[Hämtad: 2012-06-21]

Åström, J., Petterson, T. (2007) *Avloppsutsläpp och mikrobiologisk påverkan i råvattentäkten Göta älv*, Svenskt Vatten Utveckling Rapport 2007-11, Svenskt Vatten [Elektronisk]  
Tillgänglig via: [http://vav.griffel.net/filer/Rapport\\_2007-11.pdf](http://vav.griffel.net/filer/Rapport_2007-11.pdf) [Hämtad: 2012-06-21]

### **Personlig kontakt**

Alsheden, Lena (2012) VA-utredare, Tyréns.

- Kostnader för byte av ledningssträcka i det berörda området.

Hammarlund, Hans (2012) Specialist, hydraulisk modellering, Tyréns.

- Skadeståndskostnader vid källaröversvämning
- Kostnader för anläggning av magasin och byte av ledningssträcka i det berörda området.

## BILAGA A – PARAMETRAR MOUSE RDI

Kalibrering av modellen av ledningsnätet i Hjorthagen har utförts av Sweco och Stockholm Vatten. Modellen är kalibrerad mot uppmätta flöden och nivåer i ett flertal punkter på ledningsnätet och mot totalflödet till Louddens pumpstation (Olsson, 2011). För att beräkna flödet av tillskottsvatten har MOUSE RDI och tre uppsättningar med parameterinställningar utnyttjats, se figur A1, A2 och A3.

Parameter set ID:	-DEFAULT-		
Main parameters			
Surface storage (Umax):	10,000	TC overland flow (CK):	10,000
Root zone storage (Lmax):	100,000	TC interflow (CKf):	500,000
Overland coefficient (CQof):	0,300	TC baseflow (BF):	2000,000
Groundwater coefficient (Carea):	1,00	<input type="checkbox"/> Snowmelt:	3,000
Threshold parameters			
Overland(Tof):	0,000	Interflow(Tif):	0,000
		Groundwater(Tg):	0,000
Groundwater parameters			
Specific yield (Sy):	0,10	Max. GW depth causing baseflow (GWLbf0):	10,000
Min. GW depth (GWLmin):	0,000	GW Depth for Unit Capillary Flux (GWLf1):	0,000
Initial conditions			
Surface storage (U):	0,000	Overland flow (OF):	0,000
Root zone moisture (L):	0,000	Interflow (IF):	0,000
Groundwater depth (GWL):	10,000		

Figur A1. Inställningar i MOUSE RDI för uppsättningen DEFAULT som var en av tre uppsättningar som användes för simulering av tillskottsvatten i modell Hjorthagen.

Parameter set ID:	LouddenRDI20090		
Main parameters			
Surface storage (Umax):	10,000	TC overland flow (CK):	30,000
Root zone storage (Lmax):	100,000	TC interflow (CKf):	750,000
Overland coefficient (CQof):	0,070	TC baseflow (BF):	3000,000
Groundwater coefficient (Carea):	1,00	<input checked="" type="checkbox"/> Snowmelt:	3,000
Threshold parameters			
Overland(Tof):	0,000	Interflow(Tif):	0,000
		Groundwater(Tg):	0,000
Groundwater parameters			
Specific yield (Sy):	0,10	Max. GW depth causing baseflow (GWLbf0):	10,000
Min. GW depth (GWLmin):	0,000	GW Depth for Unit Capillary Flux (GWLf1):	0,000
Initial conditions			
Surface storage (U):	10,000	Overland flow (OF):	0,000
Root zone moisture (L):	25,000	Interflow (IF):	0,000
Groundwater depth (GWL):	9,500		

Figur A2. Inställningar i MOUSE RDI för uppsättningen LouddenRDI20090828 som var en av tre uppsättningar som användes för simulering av tillskottsvatten i modell Hjorthagen.

Parameter set ID:	TegeluddsvRDI200		
Main parameters			
Surface storage (Umax):	7,000	TC overland flow (CK):	0,500
Root zone storage (Lmax):	100,000	TC interflow (CKf):	750,000
Overland coefficient (CQof):	0,050	TC baseflow (BF):	3000,000
Groundwater coefficient (Carea):	1,00	<input checked="" type="checkbox"/> Snowmelt:	3,000
Threshold parameters			
Overland(Tof):	0,000	Interflow(Tif):	0,000
		Groundwater(Tg):	0,000
Groundwater parameters			
Specific yield (Sy):	0,10	Max. GW depth causing baseflow (GWLbf0):	10,000
Min. GW depth (GWLmin):	0,000	GW Depth for Unit Capillary Flux (GWLf1):	0,000
Initial conditions			
Surface storage (U):	10,000	Overland flow (OF):	0,000
Root zone moisture (L):	25,000	Interflow (IF):	0,000
Groundwater depth (GWL):	9,500		

Figur A3. Inställningar i MOUSE RDI för uppsättningen TegeluddsvRDI20090828 som var en av tre uppsättningar som användes för simulering av tillskottsvatten i modell Hjorthagen.

## BILAGA B – FÖRBRUKNINGSMÖNSTER

Förbrukningsmönstren som användes vid simuleringarna av medelvattenförbrukningen för förbrukarkategorin ”Villa”, ”Flerfamiljshus innerstad”, ”Övrigt”, se tabell B1, var hämtade från VA-forskrappport 1994-05. Förbrukningsmönstret ”Flerfamiljshus” skalades om i scenario Låg, Medel och Hög för att beskriva den tillkommande befolkningen med tre olika maxtimfaktorer som valts enligt Svenskt Vattens skrift P90, se tabell B2. Förbrukningsmönstret för förbrukarkategori ”Pumpstation” bygger på dygnsvariationen hos flödet uppmätt i Värtans pumpstation som inte följer variationen hos någon av de övriga förbrukarkategorierna, se tabell B3.

Tabell B1. Förbrukningsmönster med timfaktorer som representerade förbrukarkategorin ”Villa”, ”Flerfamiljshus innerstad” och ”Övrigt”.

<b>Timme:</b>	<b>Villa</b> $c_{t \max}$ <b>1,83</b>	<b>Flerfamiljshus innerstad</b> $c_{t \max}$ <b>2,1</b>	<b>Övrigt</b> $c_{t \max}$ <b>1,97</b>
1	0,65	0,4	0,29
2	0,43	0,25	0,34
3	0,32	0,2	0,31
4	0,29	0,18	0,34
5	0,29	0,18	0,29
6	0,32	0,55	0,79
7	0,58	1,2	1,68
8	1,77	2,1	1,86
9	1,83	1,95	1,77
10	1,6	1,61	1,91
11	1,1	1,37	1,64
12	0,93	1,17	1,97
13	0,87	1,07	1,77
14	0,84	0,96	1,86
15	0,81	0,91	1,84
16	0,82	0,85	1,44
17	0,91	0,91	0,72
18	1,1	1,12	0,76
19	1,31	1,3	0,67
20	1,5	1,45	0,45
21	1,56	1,45	0,43
22	1,58	1,3	0,29
23	1,48	1,02	0,29
24	1,12	0,5	0,29

Tabell B2. Förbrukningsmönster med timfaktorer som representerade förbrukarkategorin för den nya befolkningen i de tre scenarierna Låg, Medel och Hög.

Timme:	Tillkommande befolkning	Tillkommande	Tillkommande
	$c_{t \max} 2,1$	befolkning $c_{t \max} 2,7$	befolkning $c_{t \max} 1,4$
1	0,4	0,2	0,75
2	0,25	0,1	0,65
3	0,2	0,1	0,55
4	0,18	0,08	0,5
5	0,18	0,08	0,6
6	0,55	0,2	0,96
7	1,2	1,3	1,15
8	2,1	2,7	1,4
9	1,95	2,3	1,3
10	1,61	1,8	1,2
11	1,37	1,3	1,14
12	1,17	1,2	1,12
13	1,07	1,1	1,03
14	0,96	0,9	0,95
15	0,91	0,7	0,9
16	0,85	0,6	0,85
17	0,91	0,7	1
18	1,12	1,2	1,1
19	1,3	1,4	1,2
20	1,45	1,54	1,3
21	1,45	1,6	1,3
22	1,3	1,4	1,2
23	1,02	1,1	0,95
24	0,5	0,4	0,9

Tabell B3. Timfaktorer för förbrukningskategorin Pumpstation.

Tid	Faktor
00:00	0,05
00:30	0,05
01:00	0,05
01:30	0,05
02:00	0,05
02:30	0,05
03:00	0,05
03:30	0,05
04:00	0,15
04:30	0,3
05:00	0,45
05:30	0,6

---

06:00	3,6
06:30	3,5
07:00	3,4
07:30	3,2
08:00	0,05
08:30	0,1
09:00	1
09:30	3,2
10:00	0,1
10:30	0,15
11:00	0,15
11:30	3,1
12:00	3,1
12:30	0,1
13:00	0,1
13:30	0,15
14:00	3,2
14:30	0,1
15:00	0,1
15:30	3,4
16:00	0,1
16:30	0,1
17:00	0,15
17:30	3,6
18:00	3,5
18:30	3,2
19:00	3,2
19:30	0,05
20:00	0,05
20:30	0,05
21:00	0,05
21:30	0,05
22:00	0,05
22:30	0,05
23:00	0,05
23:30	0,05

---

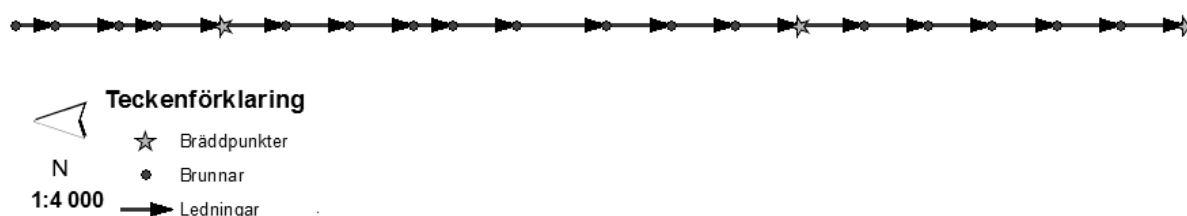
## BILAGA C – UTFORMNING AV VECKOMÖNSTER

För att undersöka om bräddvolymen påverkas av veckovariationen hos vattenförbrukningen utformades ett veckomönster av dygnsfaktorer som hade ett i medelvärde. Detta gav totalt sett lika stora spillvattenvolymer som när medelvattenförbrukning utan veckovariation simuleras.

För att ta reda på om det hade någon betydelse vilken veckodag som fick en viss dygnsfaktor undersöktes hur regntillfällena i regnserien uppmätt på Torsgatan fördelade sig mellan veckodagar. För att de beräkningar som undersökningen krävde inte skulle bli för tidskrävande byggdes en teoretisk modell upp i MIKE Urban, se figur C1 och tabell C1.

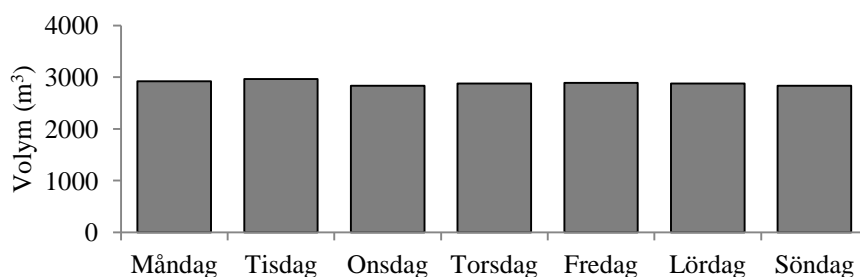
Tabell C1. Specifikation av ingående delar i den teoretiska modellen.

Teoretisk modell	
Hårdgjord yta [ha]	1,9
Bräddavlopp [st]	3
Spillvattenbelastning [ $\text{m}^3/\text{dygn}$ ]	747
Personekvivalenter [ $0,2 \text{ m}^3/\text{person} \ \& \ \text{dygn}$ ]	3700



Figur C1. Den teoretiska modellen består av 20 brunnar, tre bräddavlopp och en pumpstation. Bräddavloppen är markerade med stjärnor i figuren. Pumpstationen är placerad vid sista bräddavloppet.

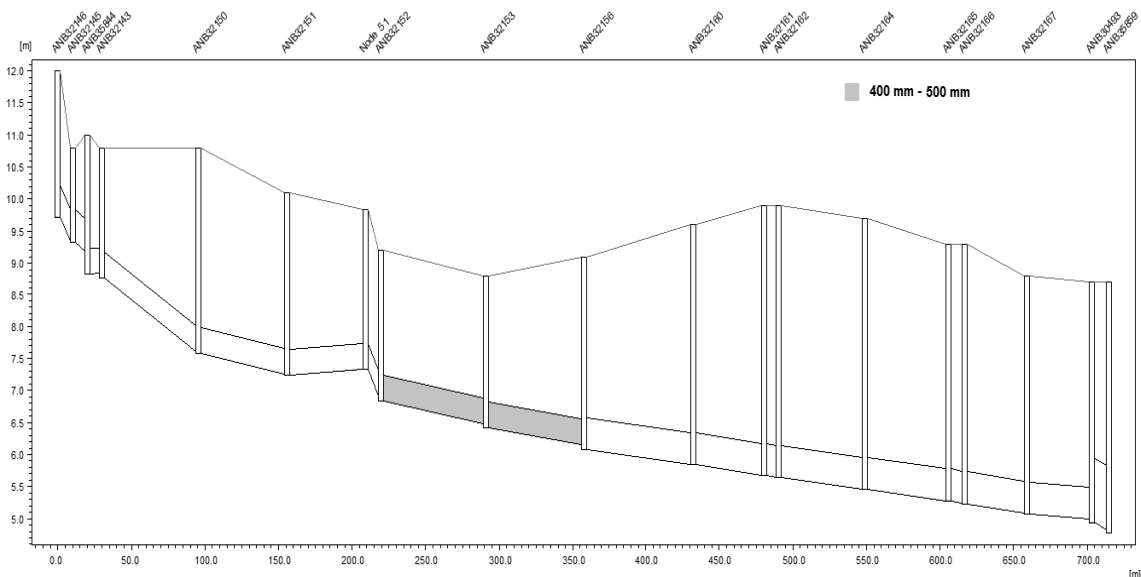
Spillvattenflödet från medelvattenförbrukning med dygnsvariation enligt förbrukningsvariationen i Hässelby villastad, se första kolumnen i tabell B1, bilaga B, simulerades tillsammans med dagvattenavrinningen från regntillfällena i regnserien från Torsgatan. Bräddvolymen beräknades i sju fall där medelvattenförbrukningen multiplicerades med en faktor 2 en dag i veckan och en faktor 1 resterande dagar i veckan. Resultatet visade att det skilde 4 procent mellan det fall med störst bräddvolym (maxdygn inföll varje tisdag) och det fall med lägst (maxdygn inföll varje söndag), se figur C2. Jämfört med andra osäkerheter i beräkningarna antogs denna skillnad kunna försummas vid utformandet av ett veckomönster av dygnsfaktorer.



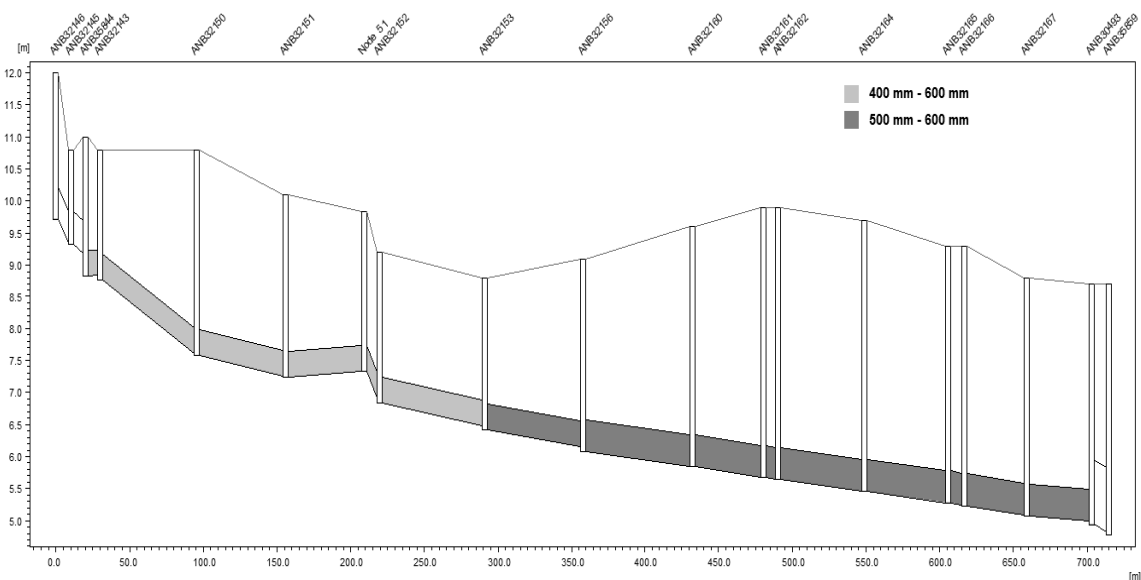
Figur C2. Total volym bräddat avloppsvatten i den teoretiska modellen. Vattenförbrukningens maxdygn, vilket innebar en maxdygnsfaktor 2, inträffade i första fallet varje måndag och resterande veckodagar hade medelvattenförbrukning, alltså dygnsfaktor 1. I andra fallet inträffade maxdygnet på tisdagar och så vidare.

## BILAGA D – ÖKAD LEDNINGSDIMENSION

I scenario Medel ökades dimensionen från 400 mm till 500 mm på en 140 m lång ledningssträcka, se figur D1. I scenario ökades ledningsdimensionen på en ledningssträcka på 670 m, se figur D2.



Figur D1. De ledningar vars diameter ökades från 400 mm till 500 mm i scenario Medel markeras med grå färg i figuren.



Figur D2. De ledningar vars diameter ökades från 400 mm till 600 mm i scenario Hög markeras med en ljusare grå färg i figuren. I de mörkt markerade ledningarna ökades diametern från 500 mm till 600 mm.



## BILAGA E – UTFORMNING AV MAGASIN

Kriteriet att bräddning inte fick förekomma vid torrväder innebar att åtgärder i ledningsnätet krävdes. I bräddpunkt E bräddade volymer enligt tabell E1 vid torrväder. Eftersom uppgifter om eventuella anslutna servisledningarna inte fanns kunde inte översvämningsrisken utredas och därför kunde den enkla åtgärden att höja bräddnivån inte göras. Istället sänktes botten med 2,2 meter på den dagvattenbrunn dit avloppsvattnet bräddade. Diametern på brunnen ökades så att brunnens volym motsvarade den volym spillvatten som bräddade vid torrväder. Därefter sattes en pump in som pumpade tillbaka vattnet från magasinet till avloppsledningen, se tabell E1.

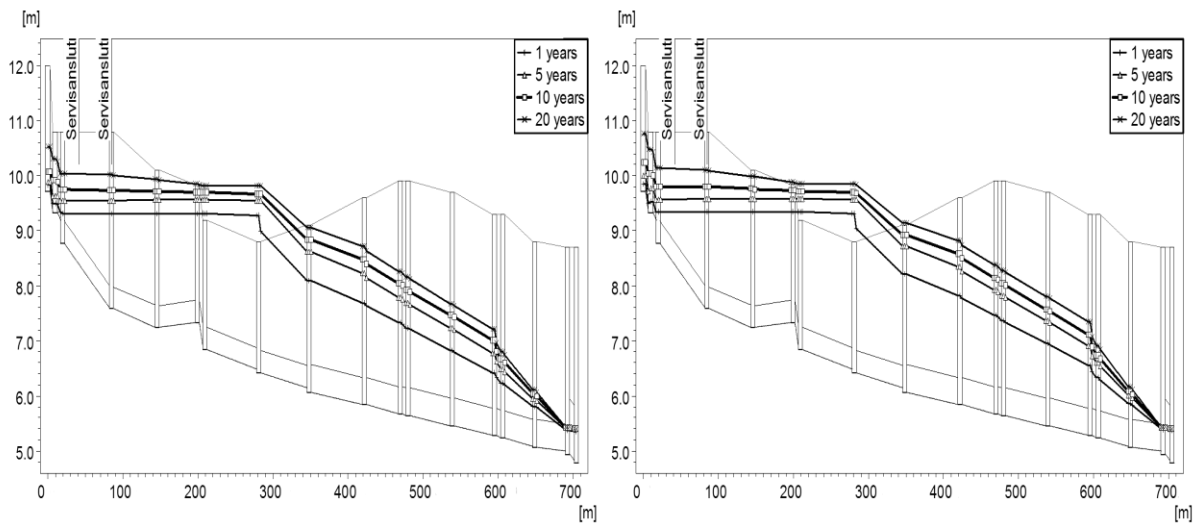
För att klimatanpassa ledningsnätet i det ursprungliga tillståndet och minska bräddningen under period A1B 2 behövdes ett magasin på 300 m<sup>3</sup>. Detta utformades på samma plats och på samma sätt som beskrivet ovan.

*Tabell E1. Följande förändringar gjordes i respektive scenario för att undvika bräddning från bräddpunkt E till dagvattenbrunn DNB32731.*

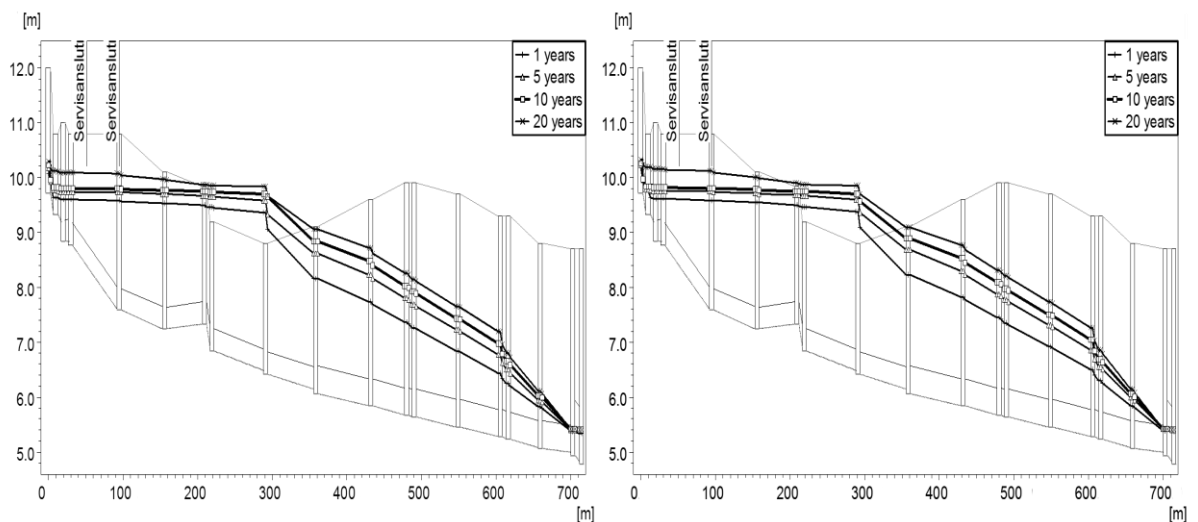
<b>Brunn DNB32731</b>	<b>Referens</b>	<b>Låg</b>	<b>Medel</b>	<b>Hög</b>
Bräddad volym (m <sup>3</sup> /dygn)	0	9,87	25,8	137
Ny bottennivå	0,67	-1,53	-1,53	-1,53
Diameter	2	2,5	4,1	9,5
Magasinsvolym (m <sup>3</sup> )	0	10	26	142
Pumpkapacitet (l/s)	0	20	20	20
Pumpstart	-	-1,32	-1,32	-1,32
Pumpstopp	-	-1,33	-1,33	-1,33

## BILAGA F – TRYCKLINJER

Simuleringarna med CDS-regn visade att trycklinjen för 10-årsregnet låg under anslutande servisledning i alla scenarier, däremot varierade säkerhetsmarginalen. I ursprungstillståndet låg trycklinjen vid maximal spillvattenavrinning och 10-årsregn 40 cm under anslutande servisledning, se figur F1. Samma säkerhetsmarginal erhöles i Låg både vid medel och dimensionerande spillvattenavrinning, se figur F2.



Figur F1. Trycklinjerna till vänster motsvarar avrinning från medelförbrukning av vatten och CDS-regn med återkomsttid 1, 5, 10 och 20 år i referensscenariot. Figuren till höger motsvarar dimensionerande spillvattenavrinning och CDS-regn i samma scenario. Linjen markerad med kvadrater är trycklinjen vid ett 10-årsregn och visar att risken för källaröversvämning påverkas väldigt lite vid dimensionerande spillvattenavrinning.



Figur F2. Trycklinjerna till vänster motsvarar avrinning från medelförbrukning av vatten och CDS-regn med återkomsttid 1, 5, 10 och 20 år i scenario Låg. Figuren till höger motsvarar dimensionerande spillvattenavrinning och CDS-regn i samma scenario. Linjen markerad med kvadrater är trycklinjen vid ett 10-årsregn. Dimensionerande spillvattenavrinning har liten inverkan på trycklinjernas nivå i jämförelse dämningnivåerna vid medelvattenförbrukning.

## BILAGA G – BRÄDDNING KLIMATSCENARIO

Bräddat volym och antal dygn med bräddning ökade under perioderna 0, A1B 1 och A1B 2, se tabell G1 till och med G4. Bräddvolymerna i ledningsnätets utbyggda tillstånd var mindre än i referensscenariot under de studerade perioderna.

Tabell G1. Total bräddning, i scenario Referens, historiskt sett och under de två framtida perioderna.

Bräddpunkt	0		A1B 1		A1B 2	
	Antal dygn	Volym [m <sup>3</sup> ]	Antal dygn	Volym [m <sup>3</sup> ]	Antal dygn	Volym [m <sup>3</sup> ]
A	1188	133749	1136	128265	1194	155070
C	555	27192	548	28107	611	34491
E	988	112992	956	120013	1108	147057
F	65	5592	69	5799	80	7142
G	1	706	1	229	1	581
<b>Totalt</b>	<b>2797</b>	<b>280231</b>	<b>2710</b>	<b>282413</b>	<b>2994</b>	<b>344341</b>

Tabell G2. Total bräddning, i scenario Låg, historiskt sett och under de två framtida perioderna.

Bräddpunkt	0		A1B 1		A1B 2	
	Antal dygn	Volym [m <sup>3</sup> ]	Antal dygn	Volym [m <sup>3</sup> ]	Antal dygn	Volym [m <sup>3</sup> ]
A	1208	41075	1152	42371	1168	51076
C	555	27192	546	28065	608	34431
E	221	111265	225	117476	271	145662
F	65	5592	69	5806	80	7139
G	1	776	1	290	1	652
<b>Totalt</b>	<b>2050</b>	<b>185900</b>	<b>1993</b>	<b>194008</b>	<b>2128</b>	<b>238960</b>

Tabell G3. Total bräddning, i scenario Medel, historiskt sett och under de två framtida perioderna.

Bräddpunkt	0		A1B 1		A1B 2	
	Antal dygn	Volym [m <sup>3</sup> ]	Antal dygn	Volym [m <sup>3</sup> ]	Antal dygn	Volym [m <sup>3</sup> ]
A	428	25166	399	26190	453	31976
C	555	27192	546	28065	608	34431
E	204	111850	199	118195	250	146889
F	65	5592	69	5806	80	7139
G	1	781	1	286	1	658
<b>Totalt</b>	<b>1253</b>	<b>170581</b>	<b>1214</b>	<b>178542</b>	<b>1392</b>	<b>221093</b>

Tabell G4. Total bräddning, i scenario Hög, historiskt sett och under de två framtida perioderna.

Bräddpunkt	<i>0</i>		<i>AIB 1</i>		<i>AIB 2</i>	
	Antal dygn	Volym [m <sup>3</sup> ]	Antal dygn	Volym [m <sup>3</sup> ]	Antal dygn	Volym [m <sup>3</sup> ]
A	40	9087	37	9165	46	11635
C	555	27192	546	28065	608	34431
E	133	98992	69	5806	80	7139
F	65	5592	1	283	1	682
G	1	773	135	105673	165	130802
Totalt	794	141636	788	148992	900	184689