

Överbelastningsproblem för avloppsledningsnät och kostnadseffektiva åtgärder

En fallstudie med förenklad hydraulisk modell

Marie Erlandsson

REFERAT

Överbelastningsproblem för avloppsledningsnät och kostnadseffektiva åtgärder – En fallstudie med förenklad hydraulisk modell

Marie Erlandsson

Många svenska kommuner har idag problem med överbelastade avloppsledningssystem. Det kan bland annat resultera i källaröversvämningar i närbelägna fastigheter, överbelastade reningsverk eller bräddningar till recipienten. För att motverka dessa effekter kan olika åtgärder vidtas. Åtgärderna kan vara olika lämpliga beroende på typ av område och kostnaderna för genomförandet kan variera kraftigt och ha olika miljöpåverkan. Detta innebär att det är viktigt att väga samman effektiviteten av olika åtgärder, deras miljöpåverkan, kundnytta och kostnad.

Syftet med examensarbetet var att med hjälp av ett hydrauliskt modelleringsverktyg (PCSWMM) studera ett antal typområden och ta fram en förenklad modell. Modellen ska enkelt kunna anpassas till olika områden och ge en översiktlig bild av situationen i områdets ledningssystem. Därmed kan eventuella överbelastningsproblem lokaliseras och en kostnadseffektiv lösning testas.

En hydraulisk modell utvecklades för Viksängsvägens avrinningsområde i Södertälje kommun. Det är ett äldre område med underdimensionerade ledningar vilket orsakar problem vid hård belastning. Effekten av olika åtgärder testades i modellen och en kostnadsanalys gjordes för att utreda vilken åtgärd som var mest kostnadseffektiv.

En grenad modell visade sig ge bäst beskrivning av Viksängsvägens avrinningsområde. Det var en förenklad modell som gick relativt snabbt att sätta upp för ett nytt område och som tog hänsyn till avrinningsvolym, ledningskapacitet och ledningssystemets struktur. Modellen kräver dock en del information om ledningssystemets uppbyggnad och de hårdgjorda ytornas fördelning över området.

Den åtgärd som rekommenderades för Viksängsvägens avrinningsområde var att bygga utjämningsmagasin i anslutning till Viksängsvägen. Detta för att kostnaden var relativt liten jämfört med andra åtgärder samt för de positiva effekter åtgärden har på miljön och människorna som bor och vistas i området.

Nyckelord: VA-åtgärder, hydraulisk modellering, PCSWMM, överbelastningsproblem

*Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet
Geocentrum, Villavägen 16, SE-75236 Uppsala
ISSN 1401-5765*

ABSTRACT

Under dimensioned sewage systems and cost-effective interventions – A case study with simplified hydraulic model

Marie Erlandsson

Under dimensioned sewage systems as a result of new housing estates and increased water usage have become an important issue for many municipalities. A flooded sewerage can result in serious damage to basements, disturb processes in sewage plants or lead to forced outflow of sewage water in nearby lakes or rivers. There are many possible interventions, although area type, environmental effects and economics limit the choices.

The purpose of this master thesis was to study a number of theoretical areas and build a general computer model for water simulation of a sewer system. The model should be easy to adapt to real areas and give a good idea of the sewer situation in the area. The simulation can also be used for location of problem areas and evaluation of measures.

A general computer model was adapted for Viksängsvägen drainage area in Södertälje. It is an old neighborhood with under dimensioned sewerage and during intensive precipitation the sewer often floods. By adapting the general model to a specific problem it was possible to see if the model was accurate enough to be used for simplified analysis of an area. The result of the simulations was also used to study cost-effective measures for Viksängsvägen.

The best computer model for Viksängsvägen was a branched model that had the most important properties implemented, but it was still easy to adapt for a new area. The branched model takes educted volume, sewer capacity and sewer structure into consideration, which also means that information about this is necessary.

The recommended measure for Viksängsvägen drainage area was to build sewer storages in connection with the existing sewerage on Viksängsvägen. The calculated cost was considerably lower compared to alternative interventions and it has many positive effects on environment for both man and nature in the area.

Keywords: wastewater interventions, hydraulic simulation, PCSWMM, wastewater model, under dimensioned sewage systems

*Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Sciences,
Uppsala University
Geocentrum, Villavägen 16, SE-75236 Uppsala, Sweden
ISSN 1401-5765*

FÖRORD

Detta examensarbete utfördes som avslutning på civilingenjörsprogrammet Miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet. Examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng och har utförts på Sweco Environment i Stockholm. Ämnesgranskare var Lars-Christer Lundin vid Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära.

Jag vill tacka mina handledare Tommy Giertz och Hans Hammarlund på Sweco för all hjälp under arbetets gång. Tack också till alla på grupp 1134 och 1132 för svar på många frågor och för trevligt sällskap.

Ett stort tack riktas också till Dan Godman, Per Andersson och Lars Lönnkvist på Telge Nät för hjälp med att ta fram underlag till arbetet.

Stockholm, januari 2010

Marie Erlandsson

Copyright © Marie Erlandsson och Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.

UPTEC W10 022, ISSN 1401-5765

Tryckt hos Institutionen för geovetenskaper, Geotryckeriet, Uppsala universitet, Uppsala 2010.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Överbelastningsproblem för avloppsledningsnät och kostnadseffektiva åtgärder – En fallstudie med förenklad hydraulisk modell

Marie Erlandsson

I äldre områden är de flesta avloppssystem byggda som kombinerade ledningssystem. Det innebär att allt avloppsvatten, även regnvatten, avleds i samma ledningar. I dessa system blir flödena stora vid kraftigt regn, vilket kan leda till att ledningarna blir översvämmade. Regntillfällena av detta slag kan leda till marköversvämmningar och källaröversvämmningar i närliggande hus. Det finns olika åtgärder för att motverka detta, till exempel kan avloppsvatten som inte får plats i ledningarna släppas ut i en närliggande sjö eller vattendrag. Magasin, det vill säga stora bassänger under marken, kan byggas för att tillfälligt lagra vatten som inte får plats i systemet. Avloppsvattnet pumpas sedan tillbaka till avloppsledningen då belastningen har minskat. Separata ledningar som bara tar hand om regnvatten kan byggas bredvid de vanliga avloppsledningarna. Dessa avlastar avloppsledningarna vilket ger mindre flöden. Regnvattnet kan också tas om hand lokalt innan det transporteras till avloppsledningarna. Det kan göras genom att vattnet får infiltrera i gräsmattor, samlas upp i vattentunnor eller rinna bort i diken. Detta kan dock vara svårt att göra i befintliga områden där det ofta är ont om utrymme.

Åtgärderna kan vara mer eller mindre effektiva i olika typer av områden och de har olika påverkan på miljön. Dessutom kostar det olika mycket att genomföra åtgärderna. Det skulle till exempel vara bra att bygga separata ledningar för regnvatten som är tillräckligt stora för att klara av allt vatten som behöver transporteras bort vid ett kraftigt regn. Problemet är att kostnaderna skulle bli mycket stora och frågan är hur mycket pengar det är värt att lägga ner. Det är därför viktigt att utreda hur effektiva olika åtgärder är för att välja den som är mest prisvärd. Kostnaden för att åtgärda den översvämmade ledningen får jämföras med miljökonsekvenser och vilka effekter det får för människorna som bor och vistas i området.

Det är viktigt att kunna beräkna flöden och vattennivåer i avloppssystemen för att ta reda på hur ledningarna reagerar vid regntillfällena och därmed slippa onödiga översvämmningar. Inom vatten- och avloppstekniken har det under de senaste åren utvecklats program för att beskriva vattennivåer och flöden i avloppsledningarna med hjälp av datormodeller. Med dessa modeller kan översvämmningar av ett avloppssystem beskrivas på ett enkelt och korrekt sätt, vilket skapar bra underlag när beslut om lämplig insats ska tas.

Syftet med examensarbetet var att med hjälp av ett datorprogram (PCSWMM) studera ett antal typområden och ta fram en förenklad modell. Modellen skulle enkelt kunna anpassas till nya områden och ge en översiktlig bild av situationen i områdets

avloppsledningar. Därmed kan eventuella översvämningssproblem samt en kostnadseffektiv lösning identifieras.

Viksängens avrinningsområde ligger i Södertälje kommun och har i tidigare studier pekats ut som ett prioriterat område för åtgärder. På Viksängsvägen finns en ledning med stora översvämningssproblem. Ett antal förenklade modeller som gav en bra bild av området kring Viksängsvägen utvecklades och testades. Effekten av olika åtgärder testades sedan och en kostnadsanalys gjordes för att utreda vilken åtgärd som var mest kostnadseffektiv.

En grenad modell visade sig ge bäst beskrivning av området kring Viksängsvägen. Det är en förenklad modell som går relativt snabbt att anpassa till ett nytt område och som tar hänsyn till volym regnvatten, storlek på ledningarna och hur ledningssystemet förgrenar sig närmast problemområdet. Modellen består av en detaljerad beskrivning av Viksängsvägen, men resten av området är kraftigt förenklat. Områdets areor och ledningslängd beskrivs som i det verkliga området medan de övriga egenskaperna förenklas. Modellen kräver dock en del information om ledningssystemets uppbyggnad och vilka typer av bebyggelse som är anslutna till området.

Den åtgärd som rekommenderas var att bygga magasin i anslutning till ledningen på Viksängsvägen. Kostnaden för att göra detta är relativt liten jämfört med andra åtgärder. Dessutom har ett magasin liten påverkan på miljön och människorna som bor och vistas i området. Ett magasin av rätt storlek medför att risken för att behöva släppa ut orenat avloppsvatten till sjöar och vattendrag vid kraftiga regn försvinner. Kostnaden för att bygga magasin beräknades till nästan fem miljoner kronor.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING.....	1
2	TEORI.....	3
2.1	SPILLVATTEN.....	3
2.2	DAGVATTEN.....	3
2.3	DRÄNVATTEN.....	4
2.4	TILLSKOTTSVATTEN.....	4
2.5	LEDNINGSSYSTEM.....	4
2.6	DIMENSIONERING AV LEDNINGSSYSTEM.....	5
2.7	DIMENSIONERANDE REGNINTENSITET.....	6
2.8	AVRINNINGSKOEFFICIENTER.....	7
2.9	VA-ÅTGÄRDER.....	8
2.9.1	Bräddavlopp.....	8
2.9.2	Magasin.....	9
2.9.3	Duplicering.....	9
2.9.4	LOD.....	10
2.9.5	Övriga åtgärder.....	10
2.10	KOSTNADSBERÄKNINGAR.....	10
2.11	HYDRAULISK MODELLERING.....	11
2.11.1	Modellverktygets funktioner.....	11
3	MATERIAL OCH METODER.....	15
3.1	OMRÅDESBESKRIVNING.....	15
3.1.1	Viksängsvägens avrinningsområde.....	17
3.1.2	Ledningssystem.....	18
3.1.3	Typområden.....	20
3.2	HYDRAULISKA MODELLER.....	23
3.2.1	Detaljerad modell.....	23
3.2.2	Kalibrering och validering.....	26
3.2.3	Grenad typmodell.....	27
3.2.4	Enkel typmodell.....	28
3.2.5	Jämförelse av typmodeller.....	30
3.2.6	VA-åtgärder.....	30
3.3	UTSPÄDNINGSGRADER.....	31

4	RESULTAT	33
4.1	SIMULERINGSRESULTAT	33
4.1.1	Jämförelse av typmodeller	33
4.1.2	VA-åtgärder	35
4.2	KOSTNADSANALYS	36
4.3	UTSPÄDNINGSGRADER	37
5	DISKUSSION	39
5.1	MODELLUTVÄRDERING	39
5.2	VA-ÅTGÄRDER	40
5.3	UTSPÄDNINGSGRADER	43
6	SLUTSATSER	45
7	REFERENSER	47

BEGREPPSFÖRKLARING

Avloppsvatten	Samlingsbegrepp för allt vatten som transporteras i spillvattenledningarna.
Avrinningskoefficient	Uttryck för hur stor del av nederbörden som avrinner.
Avrinningsområde för ledningssystem	Ett geografiskt område varifrån vatten avleds i ledningar med självfall eller pumpning till en och samma punkt.
Bräddavlopp	Avlopp som möjliggör bräddning.
Bräddning	Direkt utsläpp av spill- eller dagvatten till recipient med syfte att reducera flödet i ledningen vid hög vattennivå.
Dagvatten (dv)	Avrinnande regn-, smält- och spolvatten som via ledningar eller diken transporteras till recipienter eller reningsverk.
Dimensionerande regn	Regn med viss intensitet som ledningssystemet dimensioneras efter.
Dränvatten	Vatten som avleds vid dränering av t.ex. husgrunder.
Duplicering	Ombyggnad av ett kombinerat ledningssystem till ett duplicerat ledningssystem.
Duplicerat ledningssystem	Separerat avloppsledningssystem där spillvatten och dagvatten avleds i skilda ledningar.
Effektiv hårdgjord yta	Den del av de hårdgjorda ytorna som direkt bidrar till avrinningen. Definieras som avrinningskoefficienten multiplicerat med arean av de hårdgjorda ytorna.
Genomsläpplig yta	Markyta där vatten tillåts infiltrera marken, t.ex. gräsytor.
Hårdgjord yta	Markyta där vatten hindras från att infiltrera marken, t.ex. asfalterade ytor och hustak.
Kombinerat ledningssystem	Avloppsledningssystem där spillvatten och dagvatten avleds i samma ledningar.
Ledningshjäs	Toppen av en ledning. När vattennivån i ledningen når upp till denna är ledningen full.
LOD	Lokalt omhändertagande av dagvatten. Innebär att dagvattnet tas om hand lokalt i det område det bildas.

Utjämningsmagasin	Nedgrävt buffertutrymme som används för mellanlagring och flödesutjämning i underdimensionerade ledningssystem.
Nod	Brunn eller sammankopplingspunkt mellan ledningar.
Recipient	Havsvik, sjö eller vattendrag som tar emot förorenat avloppsvatten från t.ex. ett bräddavlopp.
Separatsystem	Separerat avloppsledningssystem där spillvatten avleds i ledningar och dagvatten i diken eller rännsten.
Separerat ledningssystem	Samlingsbegrepp för duplicerat system och separatsystem. Spillvatten och dagvatten avleds i skilda system.
Servis	Anslutningsledning mellan fastighet och närliggande ledning i gatan.
Spillvatten (spv)	Avloppsvatten från hushåll, industrier och andra verksamheter.
Tillskottsvatten	Samlingsbegrepp för det vatten som utöver spillvatten avleds i spillvattenledningar, t.ex. dagvatten, dränvatten eller inläckande sjö- och havsvatten.
Torrvädersflöde	Spillvattenflöde som inte är påverkat av nederbörd.
Utspädningsgrad (USG)	Ett mått på hur mycket tillskottsvatten det finns i ett spillvattensystem.
Återkomsttid	Den tidsperiod inom vilken en händelse inträffar i genomsnitt en gång.

1 INLEDNING

Många svenska kommuner har idag problem med överbelastade avloppsledningssystem. Det kan bland annat resultera i källaröversvämningar för närbelägna fastigheter, överbelastade reningsverk eller bräddningar till recipienten. För att motverka dessa effekter sätts olika åtgärder in. Åtgärderna lämpar sig mer eller mindre bra i olika typer av områden. Exempel på åtgärder är att brädda överskottsvatten till recipienten, bygga utjämningsmagasin som tillfälligt tar hand om överskottsvattnet, bygga ut separata dagvattenledningar eller diken eller ta hand om dagvattnet lokalt där det bildas. Kostnaderna för genomförandet kan variera kraftigt och ha olika miljöpåverkan. Det är med andra ord viktigt att väga samman effektiviteten av olika åtgärder, deras miljöpåverkan, kundnytta och kostnad. Det gäller sedan att hitta en åtgärd som ger bra effekt utan att det kostar allt för mycket.

Inom vatten- och avloppstekniken har det under de senaste åren utvecklats program för att beskriva ett ledningssystem hydrauliska funktion med hjälp av datormodeller. Med dessa modeller kan problem som överbelastning av ett avloppssystem beskrivas på ett enkelt och korrekt sätt. Med modellberäkningar kan även lösningar på problem utvärderas och beslut tas om lämplig insats.

Att sätta upp en fullständig hydraulisk modell för ett område tar mycket tid och kräver en stor mängd indata. Det leder till att kostnaderna för modellen blir stora. För att minska kostnaderna kan modellen istället göras så enkel som möjligt.

Syftet med examensarbetet var att med hjälp av ett hydrauliskt modelleringsverktyg (PCSWMM) ta fram en förenklad modell och utifrån simuleringar med denna rekommendera åtgärder. Den förenklade modellen jämfördes med en detaljerad modell för att se om den gav en bra beskrivning av det studerade området. Modellen skulle enkelt kunna anpassas till olika områden och ge en översiktlig bild av situationen i områdets ledningssystem. Därmed kan eventuella överbelastningsproblem lokaliseras och en kostnadseffektiv lösning testas.

Viksängens avrinningsområde ligger i Södertälje kommun och har i tidigare studier pekats ut som prioriterat för åtgärder. I området finns en kombinerad avloppsledning med stora överbelastningsproblem som ligger i Viksängsvägen. En detaljerad hydraulisk modell utvecklades för Viksängsvägens avrinningsområde. Modellen förenklades till ett antal mindre omfattande modeller för att utreda hur stor förenkling som kan göras utan att modellresultatet påverkas. Effekten av olika åtgärder testades och en kostnadsanalys gjordes för att utreda vilken åtgärd som var mest kostnadseffektiv.

2 TEORI

2.1 SPILLVATTEN

Spillvatten är använt vatten från hushåll, kontor, affärer, industrier och andra verksamheter (Svenskt Vatten 2004). Spillvattenavrinningen varierar tydligt under dygnet, veckan och året. Den är t.ex. störst på morgonarna och kvällarna när många personer är hemma, medan den är mindre på nätterna och mitt på dagen (Svenskt Vatten 2004). Spillvattenavrinningen fås vanligtvis fram från flödesmätningar vid torrt väder, så kallat torrvädersflöde.

2.2 DAGVATTEN

Dagvatten är ytavrinnande regn-, smält- och spolvatten från bl.a. gator, hustak och gräsytor. Vattnet transporteras via diken och ledningar till recipienter eller reningsverk (Stockholms Stad 2005). Storleken på dagvattenflödet beror på nederbörden, vilket medför stora variationer i flödet. Vid kraftiga regntillfällen blir flödet mycket stort jämfört med dagar utan nederbörd då nästan inget dagvatten bildas.

Dagvatten innehåller olika halter föroreningar beroende på var det kommer från. Dagvatten från hårdgjorda markytor är generellt sett mer förorenat än det från takytor och dagvatten från starkt trafikerade vägar är mer förorenat än det från mindre villagator (Widarsson 2007). Från trafiken är det framför allt små partiklar från asfalt, gummirester och sand som förorenar dagvattnet. Det kan t.ex. vara organiska miljögifter som PAH (polycykliska aromatiska kolväten), PCB (polyklorerade bifenyler) och oljor. Dessutom frigörs tungmetaller från takytor som består av koppar eller obehandlad zink. Andra tungmetaller som förorenar dagvattnet är kvicksilver, kadmium, bly och krom (Stockholms Stad 2005). Förutom tungmetaller finns det även andra ämnen som bidrar till det förorenade dagvattnet, t.ex. näringsämnen och bakterier.

Föroreningshalten i dagvatten kan vara hög, särskilt då det har sitt ursprung på hårdgjorda ytor inom stadsbebyggelse. Det är därför lämpligt att rena dagvattnet innan det släpps ut till recipienterna, speciellt om recipienten är känslig eller redan hårt belastad. Eftersom dagvattenflödet varierar kraftigt och flödestopparna kan bli stora behöver reningsanläggningarna klara av stora vattenvolymer, vilket kräver stora ytor och kan bli dyrt (Widarsson 2007). Det är därför lämpligt att sätta in åtgärder som minskar mängden dagvatten, utjämnar flödestopparna samt renar dagvattnet lokalt.

Dagvattnet transporteras i ledningar till avloppsreningsverk eller direkt till recipienten och orenat dagvatten kan skapa problem i båda dessa slutstationer. I sjöar och vattendrag påverkar dagvattenflödet framför allt bottensedimenten. Föroreningar ackumuleras i sedimenten och frigörs sedan genom att utbyte sker mellan bottensedimenten och vattenmassan (Stockholm Vatten 2001). I reningsverk kan slammet bli svårare att återanvända som t.ex. gödningsmedel till följd av att föroreningshalten blir för stor (Bergström 2005).

2.3 DRÄNVATTEN

Dränvatten är vatten som avleds vid dränering (Svenskt Vatten 2004). Dränering är nödvändigt vid lågt belägna byggnader och byggnader med källare för att sänka grundvattenytan och hålla torrt kring husens grunder. Relativt dagvattenflödet är dränvattenflödet så litet att det är försumbart. Inläckande dränvatten har bara betydelse för flödet vid dimensionering av spillvattenledningar. Sett över en längre tid får dränvattnet däremot effekt eftersom dränvattenflödet pågår hela dygnet och därmed resulterar i stora volymer under längre tidsperioder (Svenskt Vatten 2004).

2.4 TILLSKOTTSVATTEN

Tillskottsvatten är ett samlingsbegrepp som innefattar det vatten som utöver spillvattnet avleds i spillvattenledningarna (Svenskt Vatten 2004). Exempel är dagvatten, dränvatten, grundvatten och inläckande sjö- eller havsvatten på grund av otäta eller felkopplade ledningar. En stor volym tillskottsvatten innebär att spillvattnet i ledningarna blir mycket utspädd. Ett mått på hur stor denna utspädning är fås av utspädningsgraden (USG). Utspädningsgraden beräknas som kvoten mellan den totala vattenvolymen i ledningen och volymen av torrvädersflödet för samma tidsperiod (Naturvårdsverket 1996). En utspädningsgrad av värdet ett betyder att inget tillskottsvatten finns i ledningssystemet och två att lika mycket tillskottsvatten som spillvatten finns. Denna används för att jämföra andelen tillskottsvatten mellan olika avrinningsområden. Områden med stor utspädningsgrad bör prioriteras för åtgärder eftersom andelen tillskottsvatten är stor.

2.5 LEDNINGSSYSTEM

Det finns olika sätt att avleda spillvatten, dagvatten och dränvatten på, vilket beror på att ledningssystemen har byggts efter olika principer under olika tidsperioder (Svenskt Vatten 2007). Det finns kombinerade system och separerade system. De separerade systemen kan delas upp i duplicerade system och separatsystem.

Kombinerade ledningssystem innebär att spill-, dag- och dränvatten avleds i samma ledningar. I den här typen av system anläggs bräddavlopp för att ta hand om tillfälliga flödestoppar (Svenskt Vatten 2007).

Separerade ledningssystem innebär att spillvatten och dagvatten avleds i olika ledningssystem (Svenskt Vatten 2007). Duplicerade system innebär att spillvatten och dagvatten avleds i skilda ledningar, medan separatsystem innebär att spillvattnet avleds i ledning och dagvattnet i dike eller rännsten (Svenskt Vatten 2004). Dränvattnet kan avledas i spillvattensystemet, dagvattensystemet eller i en separat dränvattenledning.

Kombinerade ledningssystem byggdes främst fram till 1950-talet och är därför vanliga i äldre bostadsområden (Svenskt Vatten 2007). Idag byggs framför allt separerade system vid nybyggnationer. Kombinerade system drabbas oftare av uppdämda vattennivåer och översvämningar än de separerade. Detta beror på att de kombinerade systemen inte är anpassade för de stora flöden som kan uppkomma vid större nederbördstillfällen. En annan anledning till att kombinerade ledningssystem ofta har kapacitetsproblem är att nybyggda områden kopplats på äldre ledningssystem på senare år då kapaciteten redan

varit begränsad. Ett kombinerat system resulterar därmed oftare i bräddningar. Ett överbelastat kombinerat ledningssystem medför även risk för att källare i lågt belägna byggnader kan råka ut för översvämningar då ledningarnas kapacitet inte räcker till. Med separerade ledningssystem försvinner risken för källaröversvämningar eftersom spillvattnet inte påverkas av nederbörden. Det här har medfört att många kombinerade system byggts om till separerade, men eftersom många nya ledningar eller diken då måste anläggas i befintliga områden är detta en dyr investering för kommunerna.

Ledningssystem anläggs enklast med hjälp av självfall. På detta sätt kan vatten avledas med hjälp av tyngdkraften och kostnaderna minimeras. Då möjligheten till självfall inte finns anläggs pumpstationer.

2.6 DIMENSIONERING AV LEDNINGSSYSTEM

Enligt MB 9 kap. 2 § punkt 3 definieras dagvatten som avloppsvatten då det gäller avvattning av mark inom detaljplan som inte görs för en viss eller vissa fastigheters räkning. MB 9 kap. 2 § punkt 1 anger även att spillvatten eller annan flytande orenlighet är avloppsvatten. Utsläpp av avloppsvatten ses som miljöfarlig verksamhet enligt MB 9 kap. 1 § och enligt MB 9 kap. 7 § ska detta vatten avledas och renas eller tas om hand på något annat sätt så att olägenhet för människors hälsa eller miljön inte uppkommer. Avloppsvatten får därmed bara släppas ut om det är uppenbart att det kan ske utan risk för människors hälsa eller miljön. Den som är ansvarig för att ta hand om och avleda avloppsvattnet är VA-huvudmannen. I tätbebyggda områden är det oftast kommunerna som har det ansvaret.

Ett allmänt ledningssystem dimensioneras efter nederbördstillfällena med en viss återkomsttid. Som generellt krav gäller att ett allmänt dagvattenförande ledningssystem ska dimensioneras så de fastigheter som är mest utsatta inte löper risk att drabbas av källaröversvämningar via avloppsservisen oftare än vart tionde år (Svenskt Vatten 2004).

Det finns två metoder för att dimensionera ett ledningssystem. I den första metoden undersöks möjligheten för att ledningen blir helt fylld, det vill säga att vattennivån når upp till ledningshjässan. Den andra metoden undersöker möjligheten att trycknivån når upp till marknivån eller lägsta källarnivån. Hur ledningssystemet ska dimensioneras beror sedan på typ av ledningssystem, typ av område samt om det ligger i eller utanför tätbebyggt område. Svenskt Vatten (2004) har satt upp rekommendationer för hur ledningssystem bör dimensioneras, tabell 1. Där delas de studerade områdena upp i två huvudklasser, instängda och ej instängda områden. Med instängda områden menas områden där vatten inte kan avledas med hjälp av självfall på markytan, till exempel tätbebyggda områden vars markyta inte har rätt lutning för självfall. I dessa områden måste dagvattnet avledas i ledningar. I ej instängda områden är det möjligt att avleda vatten på markytan. Detta innebär att ledningssystem i instängda tätbebyggda områden bör dimensioneras för att klara av större flöden än ledningssystem i ej instängda områden.

Tabell 1. Krav på återkomsttider för regn vid dimensionering av avloppsledningssystem (Svenskt Vatten 2004)

Typ av område	Dimensionering för fylld ledning:		Återkomsttid för trycklinje i:	
	Dagvattenledning	Kombinerad ledning	Marknivå för dagvattenledning	Källarnivå för komb. ledning
Ej instängt område utanför stadsbebyggelse	1 år	5 år	10 år	10 år
Ej instängt område inom stadsbebyggelse	2 år	5 år	10 år	10 år
Instängt område utanför stadsbebyggelse	5 år	10 år	10 år	10 år
Instängt område inom stadsbebyggelse	10 år	10 år	10 år	10 år

2.7 DIMENSIONERANDE REGNINTENSITET

En dimensionerande regnintensitet kan beräknas med Z-metoden. SMHI (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut) har undersökt nederbördsobservationer över hela landet och kommit fram till en regional Z-parameter, vilken varierar med medelnederbörden under sommarmånaderna (Svenskt Vatten 2004). Z-parametern presenteras i en kartbild i Svenskt Vattens P90 (2004) och är störst där det regnar mest, dvs. i sydvästra Sverige där värdena ligger över 30. Med hjälp av Z-parametern kan den dimensionerande regnintensiteten beräknas enligt ekvation 1.

$$i(t_r, Z) = 2,78 \cdot (a + Z \cdot b) \cdot c \quad (1)$$

Där $i(t_r, Z)$ är den dimensionerande regnintensiteten för en ort i Sverige [l/s·ha], Z den regionala parametern [-], t_r regnets varaktighet [h] samt a, b och c konstanter som ges av tabell 2 och 3 [-].

Tabell 2. Konstanterna a och b för olika återkomsttider (Svenskt Vatten 2004)

Återkomsttid [år]	Konstanter	
	a	b
1	5,38	0,272
2	7,53	0,293
5	11,63	0,309
10	16,12	0,314

Tabell 3. Konstanten c för olika varaktigheter på regnet (Svenskt Vatten 2004)

t_r [min]	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
c	3,62	2,96	2,41	2,06	1,81	1,62	1,47	1,35	1,25	1,17	1,10
t_r [h]	1	1,5	2	3	4	6	8	12	16	20	24
c	1,10	0,821	0,667	0,499	0,405	0,303	0,246	0,184	0,149	0,127	0,112

2.8 AVRINNINGSKOEFFICIENTER

I en stad är andelen hårdgjorda ytor stor och nederbörden har svårt att rinna undan. De hårdgjorda ytorna hindrar infiltrationen i marken och istället finns ledningar som transporterar dagvattnet vidare till recipienter eller reningsverk. Hårdgjorda ytor är markytor där dagvattnet hindras från att infiltrera marken, t.ex. asfalterade ytor och hustak. Avrinningskoefficienten är ett mått på hur stor del av nederbörden som avrinner till spillvattensystemet från markytan. Koefficienten beror bland annat på andel hårdgjord yta, områdets lutning och regnintensitet (Svenskt Vatten 2004). Ju större lutningen och regnintensiteten är desto större blir avrinningskoefficienten. Svenskt Vatten (2004) har sammanställt avrinningskoefficienter för olika typer av ytor, tabell 4.

Tabell 4. Avrinningskoefficienter för olika typer av ytor (Svenskt Vatten 2004)

Typ av yta	Avrinningskoefficient
Tak	0,9
Betong- och asfaltsyta, berg i dagen i stark lutning	0,8
Stensatt yta med grusfogar	0,7
Grusväg, starkt lutande bergigt parkområde utan nämnvärd vegetation	0,4
Berg i dagen i inte allt för stark lutning	0,3
Grusplan och grusad gång, obebyggd kvartersmark	0,2
Park med rik vegetation samt kuperad bergig skogsmark	0,1
Odlad mark, gräsyta, ängsmark m.m.	0-0,1
Flack tätbevuxen skogsmark	0-0,1

Då ett område består av flera delområden med olika avrinningskoefficienter beräknas en sammanvägd avrinningskoefficient enligt ekvation 2 (Svenskt Vatten 2004):

$$\varphi = \frac{(\varphi_1 A_1 + \varphi_2 A_2 + \dots + \varphi_n A_n)}{(A_1 + A_2 + \dots + A_n)} \quad (2)$$

Där φ är den sammanvägda avrinningskoefficienten [-], φ_n avrinningskoefficienten för område n [-] och A_n arean på område n [ha].

Svenskt Vatten (2004) har även sammanställt sammanvägda avrinningskoefficienter för olika typer av bebyggelse, vilka kan användas vid överslagsberäkningar, tabell 5.

Tabell 5. Sammanvägda avrinningskoefficienter för olika typer av bebyggelse (Svenskt Vatten 2004)

Bebyggelseyp	Avrinningskoefficient	
	Flackt	Kuperat
Slutet byggnadssätt, ingen vegetation	0,70	0,90
Slutet byggnadssätt med planterade gårdar, industri- och skolområden	0,50	0,70
Öppet byggnadssätt (flerfamiljshus)	0,40	0,60
Radhus, kedjehus	0,40	0,60
Villor, tomter < 1000 m ²	0,25	0,35
Villor, tomter > 1000 m ²	0,15	0,25

Avrinningskoefficienterna bör väljas enligt tabell 4 om inget annat kan visas vara riktigare (Svenskt Vatten 2004). Från dessa värden kan sammanvägda koefficienter som är specifika för det studerade området beräknas.

2.9 VA-ÅTGÄRDER

Det finns olika metoder för att reducera flödet i ledningssystemen. Kombinerade ledningssystem har bräddavlopp som används då flödet blir för stort. I andra system avleds dagvattnet separerat från spillvattnet och ibland anläggs magasin som tillfälligt lagrar avloppsvatten då ledningskapaciteten inte räcker till för att leda bort allt vatten.

2.9.1 Bräddavlopp

Bräddavloppets uppgift är att reducera flödet i avloppsledningarna när vattennivån blir för hög. Dessa regleringar används främst i spillvattensystemet för att undvika källaröversvämningar samt att avloppsreningsverken överbelastas (Svenskt Vatten 2004). Det bräddade vattnet avleds vanligtvis direkt eller via en angränsande dagvattenledning till en närliggande recipient utan föregående rening (Naturvårdsverket 1993). Både mängden bräddvatten samt föroreningshalten varierar med nederbördssituationen och det är främst i samband med kraftigare sommarregn, långvariga höstregn eller snösmältning som bräddavloppen används (Naturvårdsverket 1993). Bräddavlopp finns även vid pumpstationer. Dessa kallas nödavlopp och används för att avleda inkommande vatten om pumpstationen slutar fungera. Hur stora bräddvattenutsläpp som tolereras beror främst på de hälso- och miljöeffekter som kan orsakas av utsläppen, men även på hur recipienten används idag och hur den kommer att användas i framtiden. Beroende på användning följer krav på vattenkvalitet som är avgörande för vilka begränsningar som gäller vid utsläpp av bräddvatten. Åtgärder som minskar utsläpp vid råvattentäkter, badplatser, rekreationsområden och skyddsvärda naturområden bör därför prioriteras (Naturvårdsverket 1993). Ända sedan separerade ledningssystem började byggas har målet varit att bli av med bräddavloppen. I äldre ledningssystem har ändå många bräddavlopp blivit kvar eftersom det ansetts vara bättre med bräddningar än översvämningar. Det är dock lämpligt att lokalisera bräddavloppen till ställen där skador på recipienten minimeras (Gustafsson & Svensson 1992).

2.9.2 Magasin

Ett magasin är en stor behållare som tillfälligt lagrar vatten när flödet i en ledning blir för stort. När vattennivån i ledningen har sjunkit till mer normala nivåer pumpas det magasinerade vattnet tillbaka in i ledningen. Ett magasin fungerar därmed även som flödesutjämnare vid flödestoppar och används bara när vattennivån i ledningen når över en kritisk nivå. Därför är det vanligt att en bräddledning ansluter mellan ledningen och magasinet. Med denna åtgärd kommer bräddningarna som annars skulle ske och därmed de negativa konsekvenser det har på miljön att upphöra. Dessutom kommer risken för mark- och källaröversvämningar att minska. Ett utjämningsmagasin har dessutom en viss avskiljande effekt på föroreningar, då vattnet tillfälligt står stilla i magasinet och sedimentering möjliggörs (Sweco 2009). Magasinet behöver dock tömmas på sedimenterade partiklar emellanåt. Den här åtgärden fungerar bäst när det finns trånga passager i ledningssystemet, dvs. lokala problem, eftersom det ökar kapaciteten på ledningen det ansluter till. Om kapacitetsproblemen är utspridda över hela området har ett magasin inte lika stor effekt. Ett magasin kan utformas som ett rörmagasin eller en betonglåda. Ett rörmagasin är en ledning med större diameter på en vald sträcka (Sweco 2009).

2.9.3 Duplicering

Att duplicera ett område med kombinerat ledningssystem innebär att separata dagvattenledningar anläggs parallellt med spillvattenledningarna. Det är en effektiv åtgärd som i bästa fall kopplar bort alla hårdgjorda ytor från spillvattensystemet och risken för översvämningar försvinner helt. Gatubrunnarna ansluts till dagvattensystemet och dagvattenserviser byggs för att även ansluta fastigheternas hårdgjorda ytor. Att koppla in en fastighet på dagvattenservisen kostar dock en del för fastighetsägarna, vilket kan medföra att alla fastigheter inte kopplas in. De fastigheter som inte ansluter sig infiltrerar ofta sitt dagvatten direkt på gräsmattan, vilket kan leda till höjda grundvattennivåer och ökade dränvattenflöden.

I ett område med stor andel hårdgjorda ytor rinner dagvattnet snabbt ner i ledningarna. Kombinationen av att dagvattnet avrinner snabbt och inte kan infiltrera marken resulterar i att dagvattnet ofta innehåller en stor mängd föroreningar. Därför är det lämpligt att rena dagvattnet innan det transporteras ut till recipienten. När dagvattnet separeras från spillvattnet kommer volymen avloppsvatten som transporteras till reningsverket att minska. Föroreningsgraden i avloppsvattnet kommer däremot att öka eftersom utspädningsgraden minskar.

En metod som blivit vanlig för att rena dagvatten är dagvattendammar. I Sverige finns drygt tusen dagvattendammar (Falk 2007). Dessa används både för utjämnning av flödet samt för rening av dagvattnet. I dammarna sker reningen genom sedimentation, växtupptag och nedbrytning med hjälp av bakterier och mikroorganismer. Reningsgraden för en öppen dagvattendamm ligger omkring 50 % för totalfosfor, 35 % för totalkväve och mellan 50 och 80 % för tungmetaller (Stenvall m fl. 2006). Dagvattendammar är energisnåla reningsanläggningar med låga underhållskostnader, dock blir anläggningskostnaderna ofta höga.

Ett alternativ till duplicering är att inte duplicera ledningssystemet fullständigt. Det innebär att dagvattenledningar anläggs i gatorna, men då det kan vara svårt att få alla fastighetsägare att ansluta sig byggs inga dagvattensserviser. Det resulterar i att dagvattnet från gator och delvis från asfalterade ytor på fastigheter kommer avledas till dagvattenssystemet. Takyterna och en del av de asfalterade ytorna på tomterna kommer fortfarande vara anslutna till spillvattenssystemet. Åtgärden resulterar ändå i att spillvattenssystemet avlastas då mängden tillskottsvatten i spillvattenssystemet minskar.

2.9.4 LOD

Om möjlighet finns är det bra att ta hand om dagvattnet lokalt för att avlasta ledningssystemet. Lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD) innebär att dagvattnet tas om hand i det område det bildas (Svenskt Vatten 2004). Syftet med LOD är att minska behovet av att leda bort dagvatten i ledningar och även att fördröja och jämna ut flödet så flödestopparna inte blir lika stora. På det sättet bibehålls grundvattenbalansen i området. Diken kan anläggas för att fördröja och jämna ut dagvattenflödet, men i befintliga områden är det inte alltid ett alternativ eftersom utrymmet ofta är begränsat. Andra metoder som ofta utnyttjas är infiltration och perkolation, då vatten från stuprör avleds via utkastare och stenkistor ner i marken. LOD används lämpligast för dagvatten från enskilda fastigheter, där vattnet inte är starkt förorenat (Larm 1994). Om LOD används för förorenat dagvatten kan det resultera i förorenat grundvatten och förorenad mark.

2.9.5 Övriga åtgärder

En annan åtgärd kan vara att leda om en del av spillvattenledningarna. Flera spillvattenledningar från ett område samlas ofta ihop i en gemensam ledning nedströms innan spillvattnet transporteras vidare mot reningsverket. Om kapacitetsproblem uppstår i den gemensamma ledningen kan en del av de inkommande spillvattenledningarna avledas för att minska belastningen på den gemensamma ledningen.

2.10 KOSTNADSBERÄKNINGAR

Kostnadsberäkningar görs för att få en uppfattning om vad olika åtgärder kommer att kosta. Detta görs med hjälp av schablonvärden. De verkliga kostnaderna kan variera mycket och kostnaderna som presenteras här ska ses som ett hjälpmedel för att bedöma storleksordningen på investeringskostnaderna för olika åtgärder.

- Kostnaden för att rena en kubikmeter spillvatten i ett reningsverk uppskattas till 2,90 kronor (Sweco 2009).
- Kostnaden för att anlägga ett bräddavlopp uppskattas till 200 000 kronor. Hälften av kostnaden går till att anlägga en brunn med skibord och hälften till att anlägga ett bräddutlopp till recipienten (Giertz 2010). Dessutom uppkommer kostnader för att bygga bräddledningen.
- Kostnaden för att anlägga nya avloppsledningar beräknas per meter ledning enligt följande ekvation: $K = 10 \cdot d$ där K är kostnaden och d ledningens diameter i millimeter (Giertz 2009). Att bygga tio meter ledning med diametern 300 millimeter skulle därmed kosta 30 000 kronor.

- Kostnaden för att bygga en anslutningsservis till en fastighet uppskattas till 25 000 kronor per servis, vilket VA-huvudmannen står för. För fastighetsägaren uppkommer en kostnad för att ansluta stuprör och eventuell dräneringsledning till dagvattensservisen. Även den kostnaden uppskattas till 25 000 kronor. Ibland kan den dock nå upp mot 50 000 kronor (Olsson 2010).
- Kostnaden för att bygga en reningsanläggning för dagvatten ligger omkring två miljoner kronor (Sweco 2009).
- Kostnaden för att anlägga ett magasin uppskattas till 15 000 kronor per kubikmeter vatten som behöver mellanlagras (DHI 2007).

2.11 HYDRAULISK MODELLERING

Hydrauliska modeller beskriver överbelastningsproblem och dålig vattenkvalitet i ett ledningssystem. Modellerna är ett bra verktyg för att utvärdera problem, bestämma lämpliga åtgärder och för att utreda var dessa ska sättas in för att få bäst effekt.

Den amerikanska motsvarigheten till Naturvårdsverket, EPA (U.S. Environmental Protection Agency), utvecklade programmet SWMM (Storm Water Management Model) 1971. Det är ett modelleringsverktyg som används för att beräkna och analysera dagvattenavrinning och är speciellt anpassat för urbana miljöer. Programmet kan laddas ner gratis från EPA och används idag över hela världen (EPA 2009).

I detta projekt används modelleringsverktyget PCSWMM för att utreda vilka effekter olika åtgärder förväntas ha på ett överbelastat spillvattensystem. Verktyget har i tidigare studier rekommenderats som bra och användarvänligt för enklare simuleringsprojekt (Frimodt 2008). PCSWMM är ett modelleringsverktyg skapat av Computational Hydraulics International (CHI). Det är en vidareutveckling av EPA:s modelleringsverktyg SWMM och använder samma beräkningsmotor (CHIA 2009). Beräkningsmotorn är av det enklare slaget, vilket innebär att det finns begränsningar inom beräknings- och simuleringsalternativen (Frimodt 2008). Den tar till exempel inte hänsyn till brunnarnas utformning och kan bara hantera ett begränsat antal enheter. För att göra programmet mer användarvänligt har kopplingar gjorts mot moderna GIS (Geografiska Informationssystem) och CAD-verktyg. Programmet klarar av att utföra simuleringar med stora datamängder och kan både simulera enskilda nederbördstillfällen och kontinuerliga nederbördsserier (CHIB 2009). I PCSWMM byggs ett system upp med bland annat ledningar, brunnar och pumpstationer. Det modellerade området delas in i mindre delavrinningsområden som tar emot nederbörd samt genererar avrinning och eventuella föroreningar.

2.11.1 Modellverktygets funktioner

Flödessimuleringsmetoder

PCSWMM har tre metoder för att simulera flöden i ledningarna. Dessa är stationärt likformigt flöde, kinematiskt flöde och dynamiskt flöde. Alla metoder använder Mannings ekvation för att relatera flöde hastigheten till djup och lutning, ekvation 3 (Crowe m fl. 2005).

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_0^{1/2} \quad (3)$$

Q är flödes hastigheten [m^3/s], n friktionsfaktorn [$\text{s}/\text{m}^{1/3}$] som även kallas Mannings n , A ledningens tvärsnittsarea [m^2], R den hydrauliska radien [m] och S_0 ledningens lutning [-]. Mannings n beskriver ledningsväggarnas ojämnheter och friktion.

Stationärt likformigt flöde är den enklaste metoden för att beräkna flödet i en ledning. I denna metod antas att flödet är konstant, dvs. ingen förändring i flödet sker med tiden eller sträckan (Crowe m fl. 2009). Nackdelarna med metoden är att den inte tar hänsyn till magasinering, dämningseffekter, energiförluster vid ledningarnas inlopp och utlopp, flödesvariationer eller trycksatta flöden (CHIA 2009). Metoden är lämplig att använda vid preliminära analyser av långvariga flödessimuleringar eftersom flödet i verkligheten ofta varierar med tiden.

Med kinematiskt flöde tillåts både flödes hastighet och ledningens tvärsnittsarea att variera. Transport sker bara i en riktning och flödesfronten har en konstant form (Roberson m fl. 1998). Metoden kräver att lutningen på vattenytan är densamma som lutningen hos ledningen, vilket innebär att dämnda vattennivåer inte tillåts. Den tar inte heller hänsyn till energiförluster vid ledningarnas inlopp och utlopp eller trycksatta flöden (CHIA 2009). Metoden är numeriskt stabil även vid relativt stora tidssteg och om ovanstående effekter inte förväntas i systemet är det en noggrann och effektiv flödessimuleringsmetod, speciellt vid långvariga simuleringar (CHIA 2009).

Dynamiskt flöde är den teoretiskt noggrannaste flödessimuleringsmetoden. Det är också den metod som klarar av att beräkna trycksatt flöde (CHIA 2009). Metoden tar även hänsyn till de andra krav tidigare metoder inte gjort, till exempel magasinering i ledningssystemet, upp dämning, energiförluster vid ledningarnas inlopp och utlopp samt flödesvariationer. Metoden kan tillämpas på alla typer av ledningsnät men kräver mindre tidssteg, vilket resulterar i längre simuleringstider (CHIA 2009).

Modellområde

För området och ledningssystemet som ska modelleras finns en del alternativ. Kartor eller ritningar i form av raster- eller vektorfiler kan importeras till programmet som bakgrundsfiler. Modellen byggs sedan upp av tio programfiler som finns som separata lager i programmet. Det finns t.ex. filer för avrinningsområden, ledningar, noder, utlopp och pumpstationer.

Avrinningsområden ritas ut som polygoner på bakgrundslagret. För varje avrinningsområde används specifika modellparametrar. Nedan följer en beskrivning av de mest använda parametrarna.

- *% Imperv*: Hur stor del av avrinningsområdet som utgörs av hårdgjorda ytor. Används även för att ange områdets avrinningskoefficient.
- *N Imperv/N Perv*: Mannings n för de hårdgjorda respektive genomträngliga ytorna.

- *Dstore-Imperv/Dstore-Perv*: Hur stor lagringen av nederbörd på hårdgjorda respektive genomträngliga ytor är.
- *Zero Imperv*: Andel av de hårdgjorda ytorna som inte lagrar något vatten. Ett vanligt antagande är att takytor inte lagrar vatten, vilket innebär att detta är andelen takytor bland de hårdgjorda ytorna i avrinningsområdet.
- *Outlet*: Definierar den servisnod som ska ta emot områdets avrinnande vatten.
- *Slope*: Markytans medellutning.
- *Rain gage*: Nederbördsdata anges genom att skapa en syntetisk nederbördsserie i programmet eller genom att importera data från en fil. Programmet har flera förutbestämda metoder för att skapa nederbördsserier, vilka kan användas då nederbördsdata inte finns tillgänglig.

Noder är sammankopplingspunkter eller brunnar som sitter mellan ledningarna. Värden sätts på dess lägsta höjdnivå (*Invert Elevation*) samt på dess djup (*Max Depth*). Det går att lägga till ett separat inflöde till noden i form av en initial vattennivå (*Initial Depth*) eller ett direkt inflöde (*Baseline*). Denna funktion används för att lägga till spillvattenflöden till modellerna. Det finns en funktion för att bestämma hur föroreningar ska reduceras vid passage av en nod (*Treatment*). Vid dynamiskt flöde behöver dessutom en utloppsnod (*Outfall*) läggas till längst ner i ledningssystemet. Detta för att definiera ett randvillkor som bestämmer vilka förutsättningar som gäller vid utloppet. Det kan t.ex. vara ett fritt utlopp eller utlopp i en sjö där sjöns vattenyta ligger högre än utloppet. För de andra flödesmetoderna betar sig denna utloppsnod som en vanlig nod.

Ledningar ritas in mellan två noder och längden på dem beräknar programmet automatiskt. Värden sätts på Mannings n för att beskriva friktionen på ledningarnas insida, på konstanter som beskriver energiförluster som uppstår vid in- och utflöden i ledningarna och på vilken höjdnivå de ansluter till noderna. Det är vanligast med cirkulära tvärsnittareor på ledningarna men även andra former kan väljas. För cirkulära ledningar anges dess innerdiameter. Spillvattenledningar tillverkas ofta av betong eller plast. Betong har ett Mannings n på 0,0145 och plast 0,013 (CHIA 2009).

Pumpstationer beskrivs som en ledning mellan två noder, vilken transporterar vatten från en lägre till en högre höjdnivå. Det kan t.ex. vara från ett utjämningsmagasin till en högre belägen ledning. Relationen mellan pumpkapacitet och tillståndet vid pumpens in- och utlopp beskrivs av en pumpkurva. PCSWMM stödjer fyra olika typer av pumpkurvor (CHIA 2009).

- Typ 1: Pumpkapaciteten ökar stegvis med den tillgängliga volymen vatten.
- Typ 2: Pumpkapaciteten ökar stegvis med vattennivån vid pumpens inlopp.
- Typ 3: Pumpkapaciteten varierar kontinuerligt med tryckskillnaden mellan pumpens in- och utlopp.
- Typ 4: Pumpkapaciteten varierar kontinuerligt med vattennivån vid pumpens inlopp.

Utjämningsmagasin beskrivs som noder med egenskapen att kunna lagra vatten. Programmet kan beskriva olika typer av magasin, från små vattensamlingar till sjöar (CH1a 2009). För att lokalisera magasinet och dess utformning anges värden på dess lägsta och högsta höjdnivå. Det finns sedan möjlighet att lägga till en initial vattennivå i magasinet, ett direkt inflöde eller en reduceringsfaktor för föroreningar som passerar. Om magasinet representerar en sjö eller damm finns även en faktor som talar om hur stor avdunstningen är och hur stor area som blir översvämmad om magasinet skulle bli överbelastat.

3 MATERIAL OCH METODER

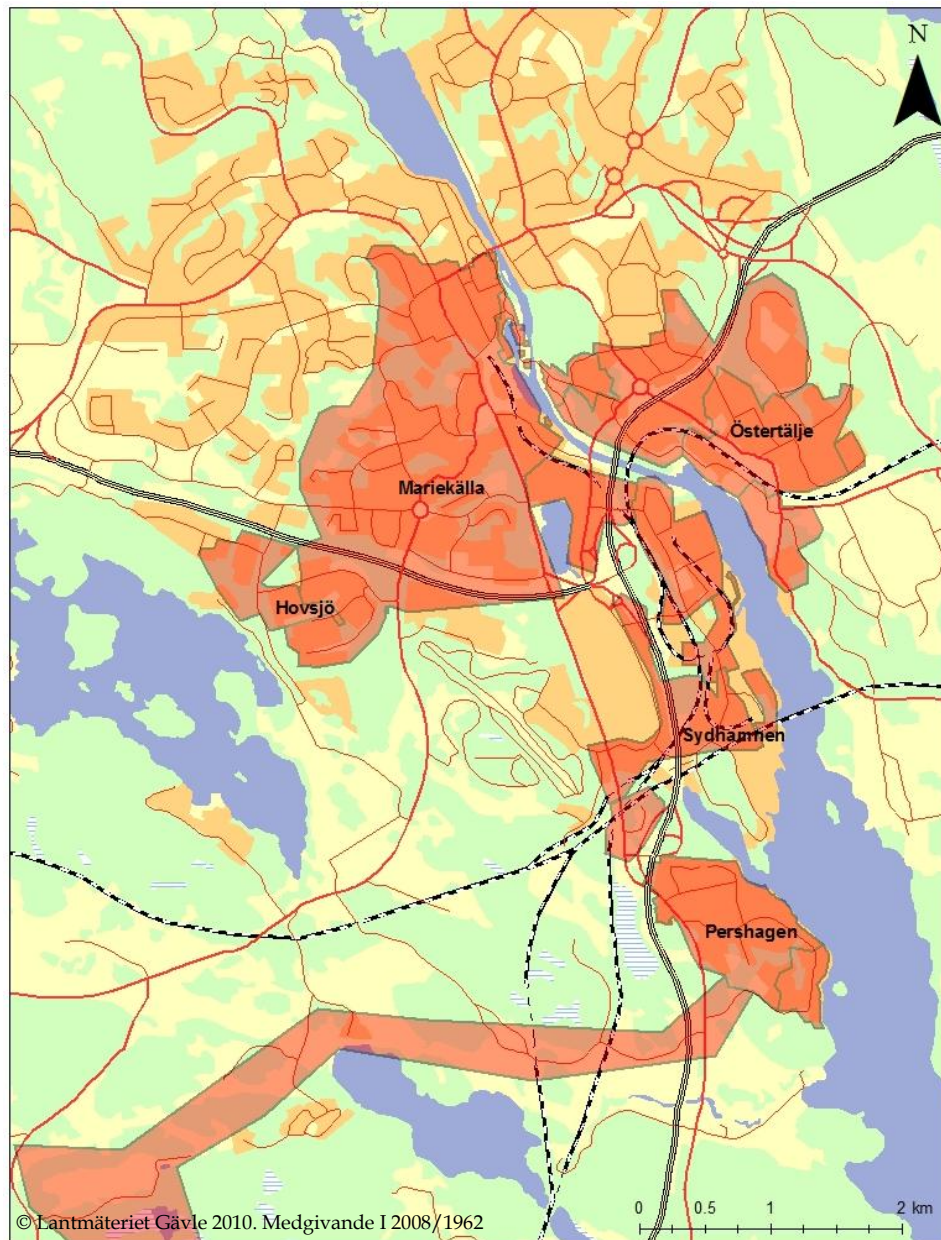
3.1 OMRÅDESBESKRIVNING

Viksängens avrinningsområde ligger i Södertälje kommun. Det är ett stort område som täcker in större delen av Södertäljes södra, östra och centrala delar. Avloppsvatten från avrinningsområdet leds till SYVAB-tunneln, vars tunnelpåsläpp ligger på östra stranden av Igelstaviken. SYVAB står för Sydvästra Stockholmsregionens VA-verksaktiebolag och är ett regionalt aktiebolag som ägs av kommunerna Botkyrka, Nykvarn och Salem samt Stockholm Vatten AB och Telge i Södertälje AB (SYVAB 2010). Tunneln transporterar vattnet vidare till Himmerfjärdsverket söder om Södertälje. Viksängens avrinningsområde (figur 1, Telge Nät 2010) består av blandad bebyggelse, vilket bland annat innebär villabebyggelse, flerfamiljshus, industriområden, motorväg, järnväg och hamn.

Volymen tillskottsvatten i området är stor. Totalt bidrar Viksängens avrinningsområde med ungefär en tredjedel av den totala volymen tillskottsvatten som Södertälje kommun levererar till reningsverken (Lehto 2001). En orsak till att detta område bidrar med så stor volym tillskottsvatten är att området är stort, drygt en tredjedel av Södertäljes befolkning bor i området (Södertälje kommun 2010, Lehto 2001). Utspädningsgraden för området är inte anmärkningsvärt stor. Den är 1,4, vilket kan jämföras med 1,96 som är medelvärdet för Södertälje kommun. På grund av den stora volymen tillskottsvatten har detta område ändå pekats ut som prioriterat vid fortsatta studier (Lehto 2001).

Dagvattnet från Viksängens avrinningsområde anses vara smutsigt och förorenat eftersom många högtrafikerade ytor samt industriområden ingår i området (Lehto 2001). Därför är det inte alltid lämpligt att avleda dagvattnet i separata dagvattenledningar direkt ut till recipienterna. Att avleda dagvattnet i spillvattenledningarna är inte heller ett bra alternativ eftersom detta kan leda till bräddningar av orenat avloppsvatten, risk för källaröversvämningar, högre pumpkostnader och problem i avloppsreningsverken till följd av ojämn flödesbelastning (Lehto 2001).

Ledningsnätet i Viksängens avrinningsområde är utbyggt under olika tidsperioder och består av olika typer av ledningssystem. Det finns både kombinerade och duplicerade ledningssystem samt kombinationer av dessa. Spillvattenledningarna har i de flesta fall diametrar mellan 225 och 300 millimeter, medan dagvattenledningarna är mellan 400 och 500 millimeter (Sweco 2009).



Figur 1. Viksängens avrinningsområde i Södertälje.

Området delades in i delavrinningsområden efter pumpstationernas positioner. Syftet med uppdelningen var att senare lokalisera delområden med hög utspädningsgrad och därmed stora volymer tillskottsvatten. På detta sätt upptäckts var det är mest effektivt att sätta in åtgärder. Uppdelningen gjordes efter de avrinningskartor som erhållits från Telge Nät (Telge Nät 2009). Området har totalt 18 pumpstationer, vilka är Badhuset, Baltic, Bränningestrandsvägen, Hovsjö, Hovsjö Gård, Hästhagen, Igelsta, Järnvägshamnen, Maren, Mälaron, Pershagen, Scania, Sydhamnen, Uthamnen, Verkstadsvägen, Vårdsholmen, Västra Kanaligatan och Östertälje (Lehto 2001). I det här projektet kommer närmare studier göras på Östertälje, Igelsta och Hästhagens avrinningsområden.

3.1.1 Viksångsvägens avrinningsområde

Ett stort problem i Viksängens avrinningsområde är lokaliserat till en kombinerad ledning i Viksångsvägen (Sweco 2009). Denna ledning samlar ihop spillvatten från Östertälje samt Hästhagen och Igelsta avrinningsområden och ansluter sedan till Östertälje pumpstation, figur 2. Ledningen är påverkad av tillskottsvatten och vid kraftigare regn förekommer bräddningar till Igelstaviken. Överbelastning av ledningen har skett vid ett flertal tillfällen och i samband med detta har vattennivåerna i ledningen blivit så höga att brunnlock lyfts (Sweco 2009). Ett tydligt samband mellan nederbörd och pumpad mängd avloppsvatten har påvisats, vilket tyder på att en betydlig mängd tillskottsvatten finns i spillvattensystemet. På grund av de stora kapacitetsproblemen i Viksångsvägen har området pekats ut som prioriterat vid fortsatta studier (Sweco 2009).



Figur 2. Viksångsvägens avrinningsområde med Östertälje, Igelsta och Hästhagens avrinningsområden samt pumpstationer.

Hästhagen är ett mycket litet avrinningsområde som består av tre gator med drygt sextio kedjehus. Igelsta avrinningsområde består av en villafastighet, ett skolområde samt ett värmeverk. Östertälje är det största området och består till största delen av

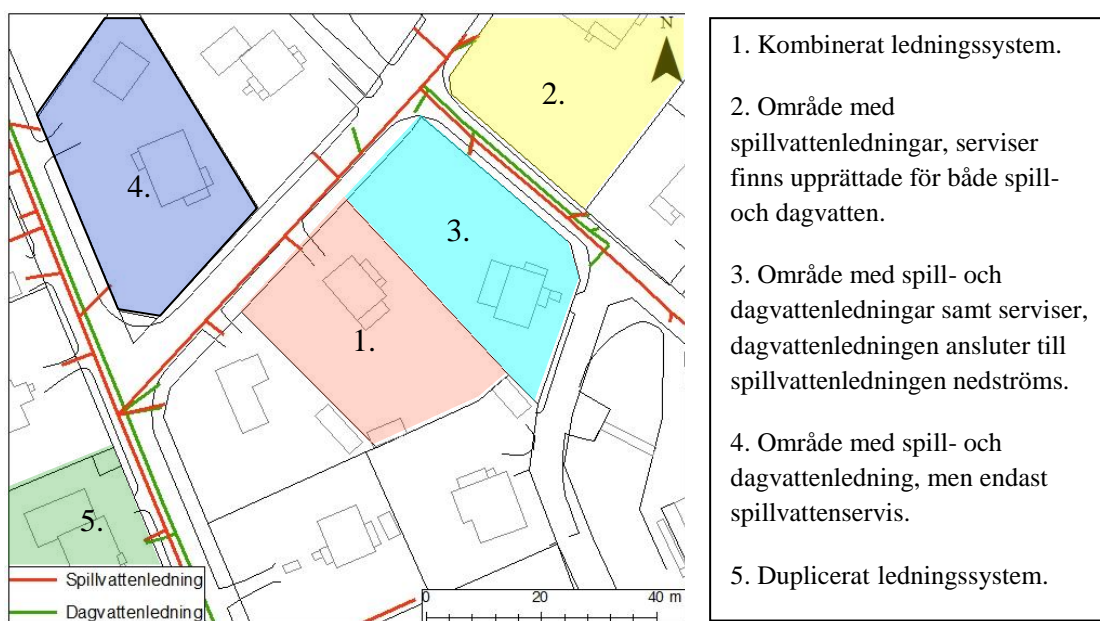
villafastigheter, men där finns även flerfamiljshus, radhus, kedjehus och en skola. Tillsammans bildar de tre områdena Viksängsvägens avrinningsområde.

3.1.2 Ledningssystem

Ledningssystemen i Viksängsvägens avrinningsområde har delats in i följande fem grupper beroende på hur de är uppbyggda.

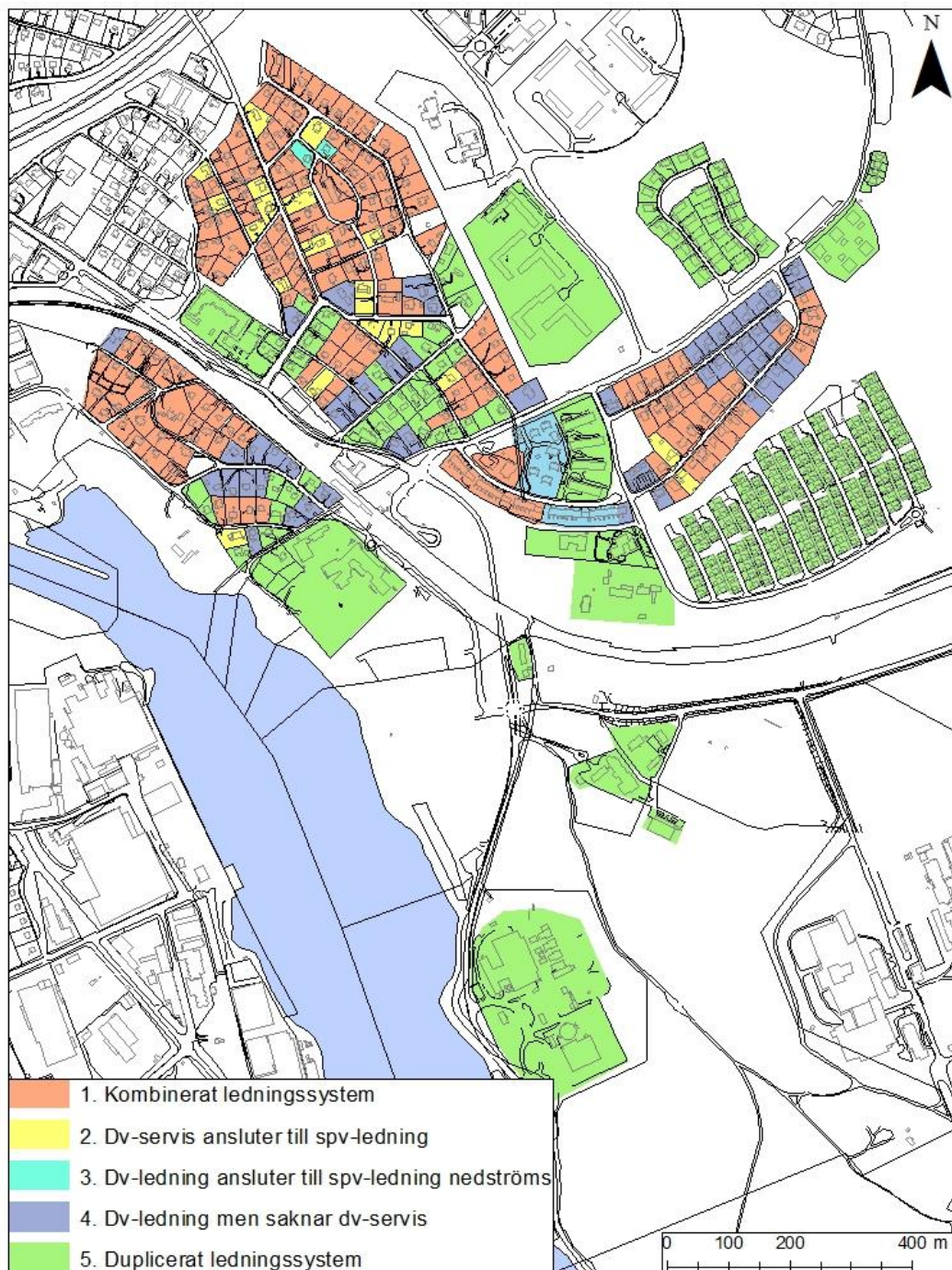
1. Kombinerat ledningssystem. Områden med bara spillvattenledningar, även dagvattenavrinningen sker i spillvattenledningarna. I dessa områden finns bara spillvattenserviser.
2. Kombinerat ledningssystem. Områden med spillvattenledningar, men där serviser finns upprättade för både spill- och dagvatten. Här är dagvattenserviser anslutna till spillvattenförande ledning.
3. Kombinerat ledningssystem. Områden med både spill- och dagvattenledningar samt serviser, men där dagvattenledningen ansluter till spillvattenledningen nedströms.
4. Ej fullständigt duplicerat ledningssystem. Områden med spill- och dagvattenledningar, men endast spillvattenserviser.
5. Duplicerat ledningssystem. Områden med både spill- och dagvattenledningar samt serviser för spill- och dagvatten.

Exempel på dessa typer av ledningssystem visas i figur 3.



Figur 3. Fem typer av ledningssystem i Viksängsvägens avrinningsområde. Observera att bilden är fiktiv för att representera alla typer av ledningssystem i ett litet område.

För att få en bättre överblick av ledningssystemet i Viksängsvägens avrinningsområde delades det in i olika typer av ledningssystem enligt figur 3. Varje typ av ledningssystem markerades med en specifik färg, figur 4.



Figur 4. Viksängsvägens avrinningsområde indelat i fem typer av ledningssystem.

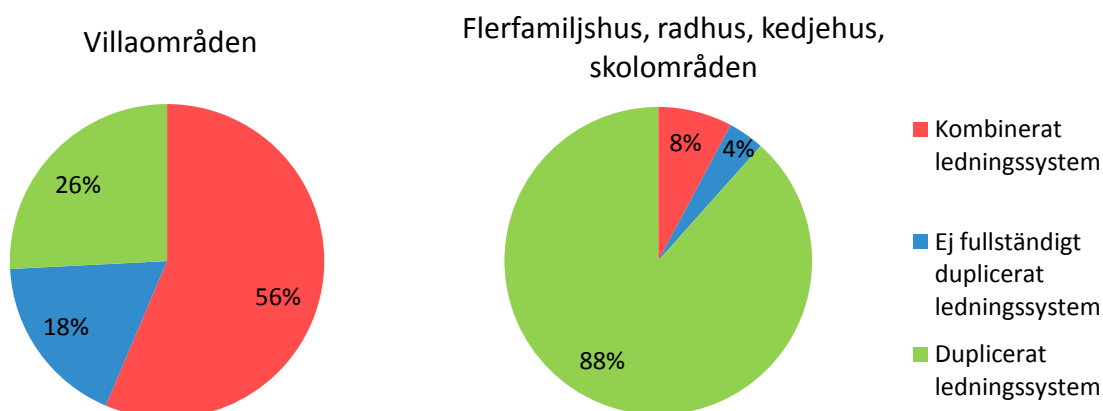
De tre första typerna av ledningssystem i figur 4 ses som kombinerade system eftersom dagvattnet till slut avrinner i spillvattenledningarna. Eftersom de tre första typerna grupperas ihop resulterar uppdelningen i tre huvudtyper av ledningssystem. Dessa är kombinerat ledningssystem (typ 1, 2 och 3), ej fullständigt duplicerat ledningssystem (typ 4) och duplicerat ledningssystem (typ 5). Som framgår av figur 4 har Igelsta och Hästhagens avrinningsområden duplicerat ledningssystem. Detta innebär att dessa områden inte borde bidra i någon större utsträckning till överbelastningsproblemen i Viksängsvägen, då volymen dagvatten som rinner ner i spillvattenledningarna är liten. I

Östertälje finns många äldre villafastigheter med kombinerat ledningssystem, vilket innebär att volymen tillskottsvatten i den delen av området kan vara stor.

3.1.3 Typområden

I Viksängsvägens avrinningsområde finns tre typer av bebyggelse. Det är villaområden, områden med flerfamiljshus, radhus, kedjehus och skolområden samt industriområden. Det som skiljer områdena åt är andelen hårdgjorda ytor vilket styr avrinningskoefficienten till spillvattensystemet. Området består till 60 % av villafastigheter, 30 % flerfamiljshus, radhus, kedjehus och skolområden samt 10 % industrifastigheter. Flerfamiljshus, radhus och kedjehus grupperades ihop för att de har lika stora avrinningskoefficienter enligt tabell 5. I normala fall har skolområden en högre avrinningskoefficient då de generellt sett har större andel hårdgjorda ytor. I Viksängsvägens avrinningsområde ansågs skolområdena dock ha större andel genomsläppliga ytor och mindre andel hårdgjorda ytor än det normala fallet. Skolområdena lades därför till samma grupp som flerfamiljshus, radhus och kedjehus.

En beskrivning av ledningssystemens fördelning inom respektive bebyggelsetyp ses i figur 5. Det enda området med industribebyggelse finns i Igelsta avrinningsområde och har fullständigt duplicerat ledningssystem. Eftersom industriområdena i området därmed endast består av duplicerat ledningssystem redovisas inte detta i figuren.



Figur 5. Typer av ledningssystem fördelat på bebyggelsetyp.

Som framgår av figur 5 har villaområdena till största delen kombinerat ledningssystem (56 %), medan områden med flerfamiljshus, radhus, kedjehus och skolområden till största delen har duplicerat ledningssystem (88 %). De kombinerade områdena ligger till hundra procent i Östertälje avrinningsområde och områden med duplicerat ledningssystem finns i Östertäljes nyare bostadsområden, samt Igelsta och Hästhagen.

Typområden sattes upp för de tre bebyggelsetyperna för att enkelt kunna beskriva bebyggelsen samt ledningssystemet i Viksängsvägens avrinningsområde i datormodeller. I typområdena togs hänsyn till bebyggelsetyp samt olika kategorier av

ledningssystem då det avrinnande dagvattnet fördelas olika mellan spill- och dagvattenledningarna beroende på system.

Som ett första antagande förmodades alla hårdgjorda ytor, det vill säga både takytor och asfalterade ytor, vara anslutna till spillvattensystemet i områden med kombinerat ledningssystem. I områden med duplicerat ledningssystem antogs allt dagvatten avrinna till dagvattensystemet, vilket resulterade i att inga takytor var anslutna till spillvattensystemet. Områden med ej fullständigt duplicerat ledningssystem antogs ha takytorna och hälften av de asfalterade ytorna anslutna till spillvattensystemet.

Avrinningskoefficienten för hustak är 0,9 och för asfaltsytor 0,8 enligt tabell 4. Då endast hälften av de asfalterade ytorna var anslutna till spillvattensystemet i områden med ej fullständigt duplicerat ledningssystem reducerades avrinningskoefficienten för asfaltsytor i dessa områden till 0,4. För gräsytor antogs avrinningskoefficienten vara noll.

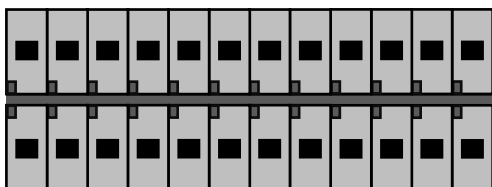
I verkligheten kan det vara svårt att veta hur stor del av hustaken i ett område som är anslutna till spillvattensystemet. Detta beror på att en del fastigheter kopplat sina stuprör till spillvattensystemet medan andra inte har gjort det. De fastighetsägare som inte anslutit takytorna tar hand om sitt dagvatten lokalt. Detta kan göras genom att infiltrera dagvattnet i gräsmattan eller samla upp det i exempelvis en vattentunna på tomten. Det kan också göras genom att stuprör leder ner dagvattnet under marken och vidare till en stenkista. Det är därmed svårt att avgöra om dagvattnet tas om hand lokalt med en stenkista eller avleds till spillvattensystemet via spillvattenservisen när stuprören leds ner i marken. Alla hustak där dagvattnet leds ner under marken antogs därför vara anslutna till spillvattensystemet.

För att ta reda på hur många fastigheter i områden med kombinerat eller ej fullständigt duplicerat ledningssystem som anslutit sina takytor till spillvattensystemet gjordes en fältundersökning i området. Uppgifter om vilka fastigheter som har stuprör som går ner i marken samlades in. Resultatet visade att de flesta fastigheter i dessa områden har stuprör som går ner i marken. Det verkade bara vara fastigheter där stuprörsanslutningen tidigare gått sönder eller tomter med ett större antal rabatter som tar hand om vattnet lokalt. I villaområden var det totalt 86 % av fastigheterna som har stuprör som går ner under marken, dessa antogs vara anslutna till spillvattensystemet. I områden med flerfamiljshus, radhus, kedjehus och skolområden hade alla fastigheter stuprör som går ner under marken.

Eftersom fältundersökningen visade att alla takytor i områden med kombinerat eller ej fullständigt duplicerat ledningssystem inte är anslutna till spillvattensystemet korrigerades avrinningskoefficienten för takytor i dessa områden till 86 % av 0,9. Detta gav en avrinningskoefficient på 0,77.

Villaområden

En typisk villagata antogs bestå av en asfalterad gata med hundra tomter fördelade på båda sidor. Gatan hämtades från en tidigare modell som utvecklats av Sweco (Sweco 2009). Tomterna har storleken 1 000 m² (20·50 m) och består av en gräsmatta, ett hus med 100 m² takyta samt en 30 m² asfalterad parkeringsyta. Gatan är sex meter bred, vilket innebär en yta på 60 m² per tomt. Ett utklipp av villagatan ses i figur 6.



Figur 6. En typisk villagata.

Denna typvillagata består av 9,4 % takytor och 8,5 % asfalterade ytor. Resterande yta är gräsytor. Avrinningskoefficienterna i villaområdet fördelades enligt tabell 6. Där visas även sammanvägda avrinningskoefficienter för olika typer av ledningssystem, beräknade enligt ekvation 2.

Tabell 6. Sammanställning av avrinningskoefficienter till spillvattensystemet för olika typer av ledningssystem i ett typiskt villaområde

Ledningssystem	Avrinningskoefficient		Sammanvägd avrinningskoefficient
	Takytor	Asfalterade ytor	
Kombinerat (56 %)	0,77	0,8	0,14
Ej fullständigt duplicerat (18 %)	0,77	0,4	0,11
Duplicerat (26 %)	0	0	0

Resultatet från tabell 6 resulterade enligt ekvation 2 i en sammanvägd avrinningskoefficient på 0,098 för villaområden.

Flerfamiljshus, radhus, kedjehus och skolområden

Områden med flerfamiljshus, radhus, kedjehus och skolområden har en större andel hustak och hårdgjorda ytor än villaområden. Det innebär att de även har en högre sammanvägd avrinningskoefficient. Efter att ha studerat kartor över Viksängsvägens avrinningsområde (Telge Nät 2009) sattes en typisk gata med flerfamiljshus, radhus, kedjehus och skolområden upp. Kartorna visade att ett sådant område i genomsnitt bestod av 28 % takytor samt 19 % asfalterade ytor. Avrinningskoefficienterna i området var fördelade enligt tabell 7. Där visas även sammanvägda avrinningskoefficienter för de olika typerna av ledningssystem, beräknade enligt ekvation 2.

Tabell 7. Sammanställning av avrinningskoefficienter till spillvattensystemet för olika ledningssystem i ett typiskt område med flerfamiljshus, radhus, kedjehus och skolområden

Ledningssystem	Avrinningskoefficient		Sammanvägd avrinningskoefficient
	Takytor	Asfalterade ytor	
Kombinerat (8 %)	0,9	0,8	0,40
Ej fullständigt duplicerat (4 %)	0,9	0,4	0,33
Duplicerat (88 %)	0	0	0

Resultatet från tabell 7 ledde enligt ekvation 2 till en sammanvägd avrinningskoefficient på 0,045 för områden med flerfamiljshus, radhus, kedjehus och skolområden.

Industriområden

I Viksängsvägens avrinningsområde finns ett värmeverk som ligger i södra delen av Igelsta. Området har fullständigt duplicerat ledningssystem och består av 17 % takytor samt 50 % asfalterade ytor (Telge Nät 2009). Eftersom industriområdet har ett duplicerat ledningssystem där varken takytor eller andra hårdgjorda ytor ansluter till spillvattensystemet antogs ingen avrinning till spillvattensystemet ske.

3.2 HYDRAULISKA MODELLER

För att få en uppfattning om hur olika VA-åtgärder påverkar ledningssystemet i Viksängsvägens avrinningsområde skapades fem hydrauliska modeller med modelleringsverktyget PCSWMM. Syftet var att ta fram en modell som enkelt kunde anpassas till Viksängsvägens avrinningsområde och senare även användas på andra områden.

I ett första steg sattes en detaljerad modell upp över Viksängsvägens befintliga avrinningsområde för att se hur ledningssystemet reagerar på kraftiga flöden. Denna modell utvecklades till en grenad modell genom förenklingar av avrinningsområden och ledningssystem. Slutligen testades olika varianter av en ytterligare förenklad modell som endast bestod av en gata med tillhörande ledningssystem. De förenklade modellerna jämfördes med den detaljerade modellen för att se hur bra de representerade det verkliga området. Syftet med de förenklade modellerna var att ge en så bra beskrivning som möjligt av vattennivåerna i den kombinerade ledningen i Viksängsvägen för att visa hur stora överbelastningsproblemen var.

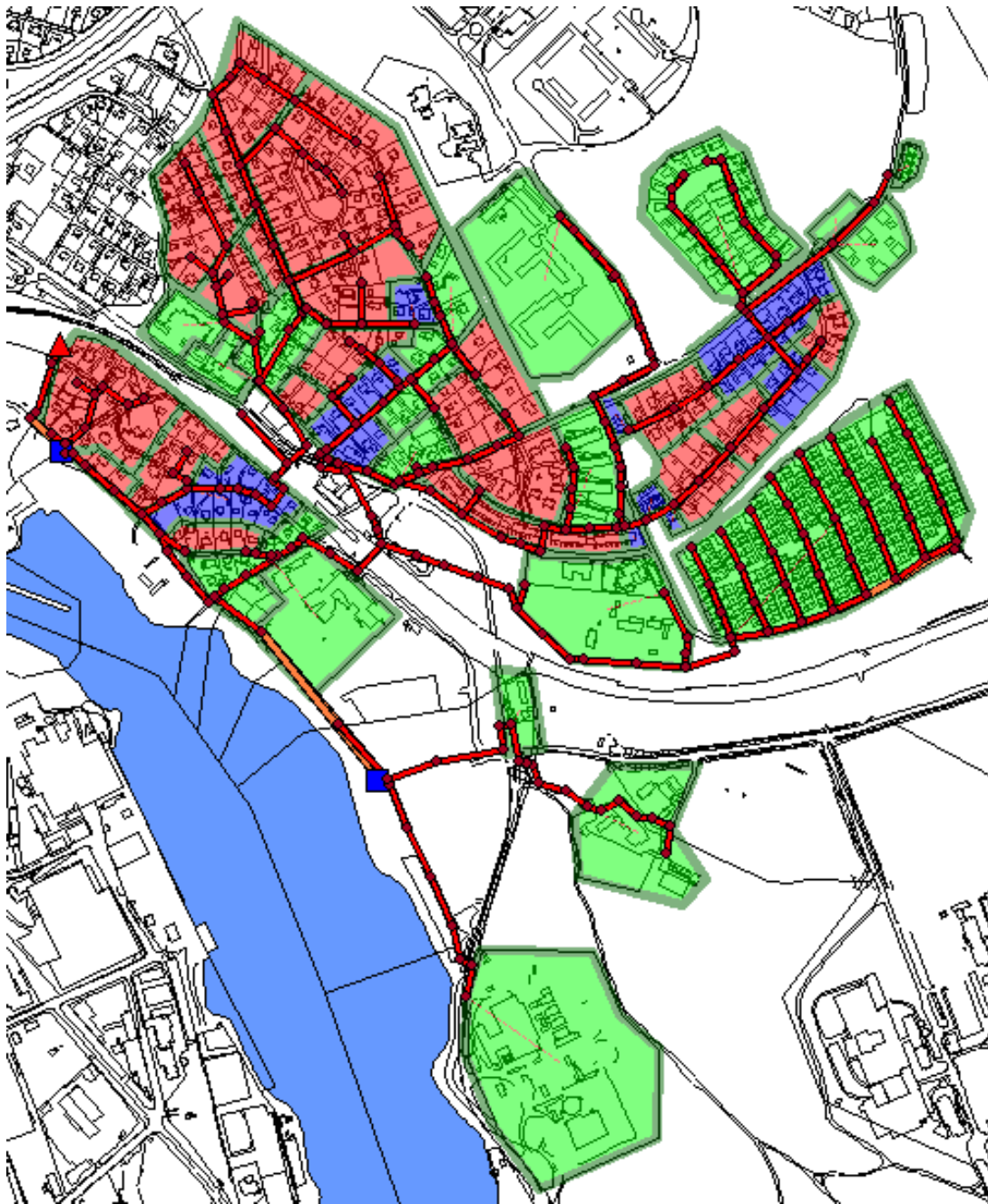
I det här projektet användes flödesmetoden dynamiskt flöde eftersom det är den enda flödesmetod som tar hänsyn till trycksatta flöden och dämnda vattennivåer, vilket uppkommer i överbelastade ledningssystem.

3.2.1 Detaljerad modell

En detaljerad modell över Viksängsvägens avrinningsområden skapades i PCSWMM. Det gjordes för att få en så riktig bild som möjligt av hur ledningssystemet fungerar, var svagheter finns samt hur stora överbelastningsproblemen i Viksängsvägen är. Modellen visas i figur 7.

Som underlag till modellen användes nod- och ledningsdata för spillvattensystemet i Södertälje samt dagvattenledningar, byggnader, fastighetsgränser, vägar, höjdkurvor och vattenytor (Telge Nät 2009). Det fordrades dock en del data till modellen som saknades i underlagsfilerna. PCSWMM kräver nodernas lägsta höjdnivå. Dessa beräknades genom att anta att en nod har samma lägsta höjdnivå som den anslutande ledningen på nodens nedströmssida har som uppströms höjdnivå. Där nivådata inte fanns för ledningarnas ändpunkter, interpolerades ett värde från omkringliggande noders höjdnivåer.

Det fanns endast ett fåtal värden på nodernas djup i underlagsfilerna. Eftersom djupet vanligtvis ligger mellan 2 och 2,5 meter antogs alla noder ha ett djup av 2,2 meter (Hammarlund 2009). I underlaget var ledningarnas material i de flesta fall angivet, vilket utnyttjades för att ansätta värden på Mannings n . Om material inte fanns angivet, sattes i första hand ett värde efter närliggande ledningars material. De ledningar där varken de egna eller närliggande ledningars material fanns angivet antogs vara tillverkade av plast. Då data på ledningarnas diametrar saknades sattes de till samma värde som närliggande ledningar hade.



Figur 7. Den detaljerade modellen. Röda områden har kombinerat ledningssystem, blå områden ej fullständigt duplicerat ledningssystem och gröna duplicerat ledningssystem. Röda linjer är spillvattenledningar, orangea linjer trycksatta spillvattenledningar, blå kvadrater pumpstationer och röda trianglar utloppsnoder.

Pumpstationerna i Östertälje och Igelsta hade två pumpar vardera med en gemensam pumpsump (vattenmagasin vid pumpens inlopp). Pumparna beskrevs med varsin pumpkurva av typ två, vilka definierades som pumpens flödeskapacitet som funktion av vattennivån i pumpsumpen. Hästhagens pumpstation förenklades bort då dess område är mycket litet. Området inkluderades istället i ett större delavrinningsområde. Avrinningskoefficienterna för modellens delavrinningsområden valdes efter typ av område och ledningssystem enligt tabell 6 och 7. Områdena kopplades till en servisnod, från vilken spillvattnet från området avrinner. I verkliga områden ansluter en servis till

varje fastighet, men i modellen gjordes en förenkling så ett delavrinningsområde delar på en servis. I ett första skede uppskattades spillvattenavrinningen för att senare justeras under kalibreringsprocessen.

En nederbördsserie skapad från uppmätta nederbördsdata från mätningar vid Telge Nätets nederbördsstation vid Pershagens pumpstation under april till september 2009 användes vid simuleringen. Stationen ligger ungefär tre kilometer från Östertälje och Igelsta.

3.2.2 Kalibrering och validering

Uppmätta nivådata i Östertälje och Igelstas pumpsumpar erhöles från Telge Nät. Med hjälp av arean på pumpsumparna samt deras nivåvariationer beräknades det inkommande flödet till pumpstationerna. Den detaljerade modellen kalibrerades genom att modellflödet i ledningarna som leder in till pumpstationerna jämfördes med det inkommande flödet som beräknats från uppmätta nivådata. För kalibrering användes data från april till juni 2009. Kalibreringen visade att flödestopparna inte alltid låg vid samma tidpunkter i de båda flödesserierna. Detta antogs bero på lokala variationer i nederbörden och innebar svårigheter med att kalibrera modellens avrinningskoefficienter. Jämförelsen av flödesserierna visade att de simulerade flödestopparna var för höga, vilket betyder att för stor andel hårdgjorda ytor är anslutna till spillvattensystemet. Avrinningskoefficienterna minskades därför med ungefär femtio procent enligt tabell 8.

Tabell 8. Kalibrerade avrinningskoefficienter för typ av bebyggelse och ledningssystem i Viksängsvägens avrinningsområde

Typ av bebyggelse och ledningssystem	Avrinningskoefficient
Villaområden	
Kombinerat (56 %)	0,07
Ej fullständigt duplicerat (18 %)	0,05
Duplicerat (26 %)	0
Flerfamiljshus, radhus, kedjehus och skolområden	
Kombinerat (8 %)	0,20
Ej fullständigt duplicerat (4 %)	0,16
Duplicerat (88 %)	0
Industriområden	
Duplicerat (100 %)	0

Sammanvägda avrinningskoefficienter beräknades sedan enligt ekvation 2 för varje bebyggelsetyp, tabell 9. Till sist beräknades även en slutlig total avrinningskoefficient för Viksängsvägens avrinningsområde, vilken fick värdet 0,035.

Tabell 9. Sammanvägda avrinningskoefficienter för de tre bebyggelse typerna i Viksängsvägens avrinningsområde, beräknade från avrinningskoefficienterna i tabell 8

Bebyggelse typ	Avrinningskoefficient
Villaområden (60 %)	0,048
Flerfamiljshus, radhus, kedjehus samt skolområden (30 %)	0,022
Industriområden (10 %)	0
Modellens slutliga totala avrinningskoefficient	0,035

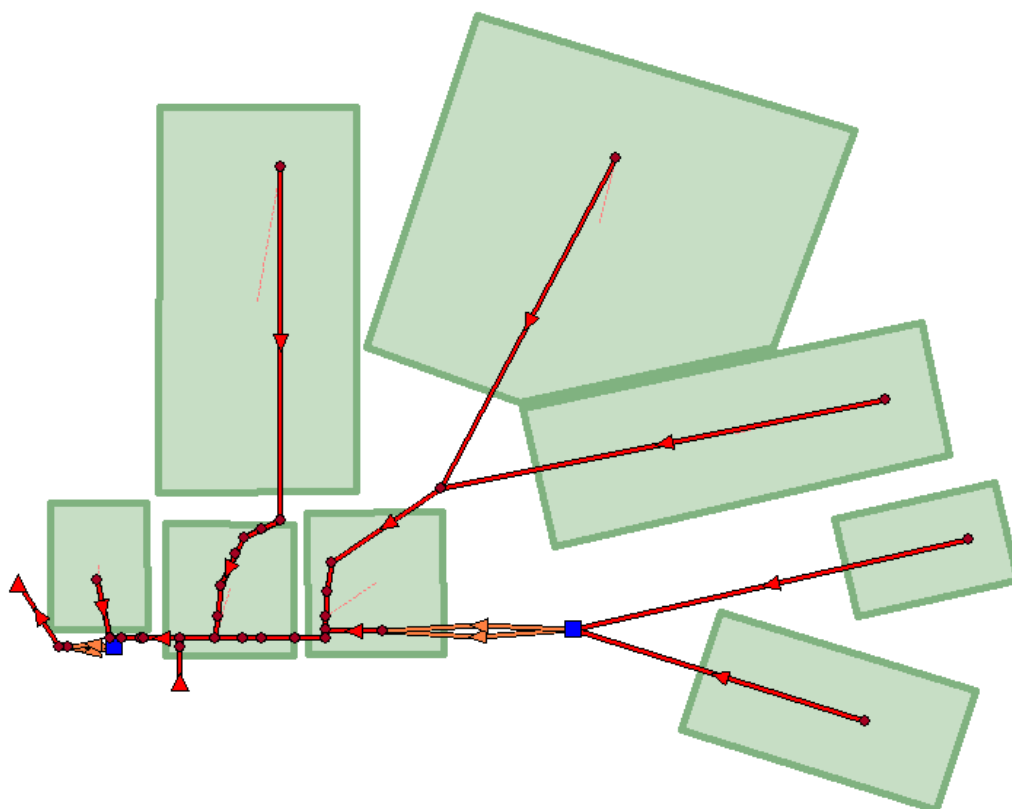
Flödesserien som beräknats från uppmätta flödesdata användes även för att kalibrera spillvattenavrinningen i modellen. Data för juli och augusti användes eftersom marken då är torr och andelen tillskottsvatten i ledningssystemet mycket liten. Torrvädersflödet låg i juli och augusti på 1,5 l/s vid Östertälje pumpstation och 0,2 l/s vid Igelsta pumpstation. Detta betyder att bidraget från Östertälje var 1,3 l/s. Antalet hushåll som var anslutna till spillvattensystemet i Östertälje uppskattades till 800 stycken. Tillsammans med ett torrvädersflöde på 1,3 l/s gav dessa förutsättningar en medelspillvattenavrinning på 140 liter per hushåll och dygn. Detta värde användes för spillvattenavrinningen i modellerna.

Den detaljerade modellen validerades med en nederbördsserie från Pershagens nederbördsstation från perioden juli till september 2009. En jämförelse mellan modellflödet och flödet som beräknats från uppmätta nivådata visade relativt lika flöden, vilket innebar att kalibreringen ansågs vara tillräcklig.

3.2.3 Förenklad grenad modell

De förenklade modellerna ska efterlikna Viksängsvägens avrinningsområde så mycket det är möjligt. Därför användes typområdena som tidigare tagits fram för de tre bebyggelse typerna. Även dessa modeller simulerades med nederbördsserien från juli till september och jämfördes med den detaljerade modellen för att få en första uppfattning om huruvida de var rimliga.

I den förenklade grenade modellen beskrevs den kombinerade ledningen i Viksängsvägen samt de närmast anslutande ledningarna i detalj, medan områdena längre bort förenklades. Detta då det var ledningen i Viksängsvägen som var mest intressant. Ledningssystemet uppströms förenklades till ett fåtal ledningar med samma totala längd som det verkliga spillvattensystemet och för lutningar och diametrar användes medelvärden. Den grenade modellen visas i figur 8.



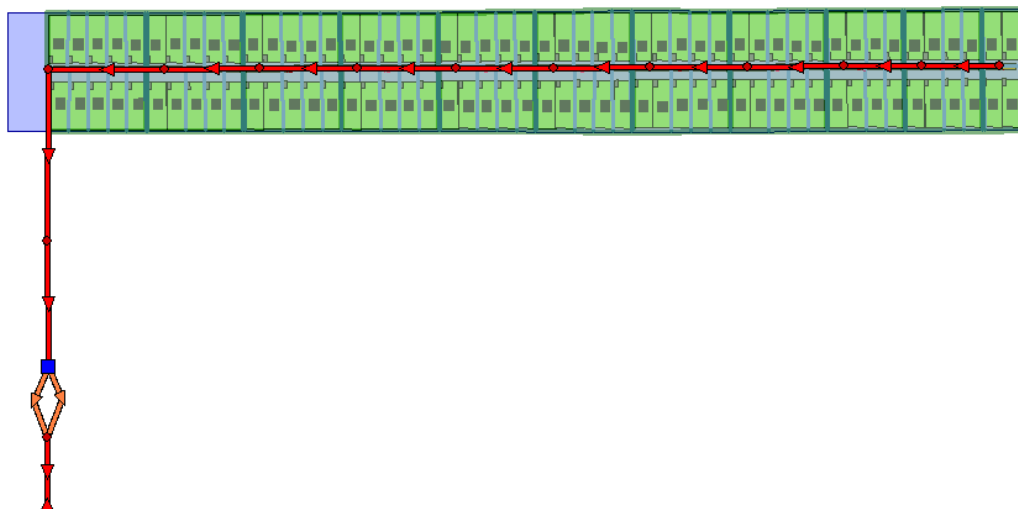
Figur 8. Den förenklade grenade modellen. Rektanglarna beskriver avrinningsområden.

Modellparametrarna sattes lika som i den detaljerade modellen. Även pumpstationerna i Östertälje och Igelsta lades till på samma sätt. Avrinningsområdena delades upp i ett fåtal större områden, men fortfarande med samma totala area som det verkliga området. Avrinningskoefficienterna ställdes in efter bebyggelse typ och typ av ledningssystem enligt tabell 8. Spillvattenavrinningen erhöles från torrvädersflödet och ställdes in beroende på hur många hushåll som var anslutna till respektive avrinningsområde.

3.2.4 Ytterligare förenklade modeller

Som utgångsläge för att sätta upp de ytterligare förenklade modellerna användes modellen Sweco tagit fram i ett tidigare projekt (Sweco 2009). Modellen bestod av en gata med hundra fastigheter, var en kilometer lång och hade en area på drygt tio hektar.

Typgatan delades in i elva mindre avrinningsområden, totalt 10,6 hektar. I varje område placerades en spillvattenservis. Noder placerades också utanför gatan, på en tänkt anslutande gata nedströms. Den anslutande gatan representerade Viksängsvägen. Där sattes även en pumpstation in som representerade Östertälje pumpstation samt en utströmningsnod där vattnet slutligen transporterades ut till tunnelpåsläppet. Modellen visas i figur 9.



Figur 9. De ytterligare förenklade modellerna utvecklades från följande modell.

Ledningarnas lutningar anpassades till det verkliga området. Lutningen på ledningen i tomtområdet sattes därför till 2,5 %, medan lutningen på den sista ledningsbiten innan Viksängsvägen sattes till 6 %, då lutningen i det verkliga området ökar mycket kraftigt där. Lutningen på ledningarna i Viksängsvägen sattes till 0,2 % eftersom Viksängsvägen är flack. Ledningarna antogs vara tillverkade av betong och en avrinningskoefficient lades till avrinningsområdena. Eftersom modellen skulle representera hela Viksängsvägens avrinningsområde användes den slutliga totala avrinningskoefficienten 0,035 (tabell 9). Samma koefficient lades till alla delavrinningsområden. Ett spillvattenflöde beräknades för varje område och lades till spillvattenserviserna. Flödet baserades på det uppmätta torrvädersflödet och storleken på det var beroende av hur många hushåll som var anslutna till respektive delavrinningsområde.

Modellen anpassades sedan till Viksängsvägens avrinningsområde på olika sätt, vilket resulterade i ett antal modellversioner.

Rak skalbar modell

En rak skalbar modell byggdes enligt figur 9. Längden på ledningarna i tomtgatan var totalt en kilometer och ledningarna i Viksängsvägen fick längden 320 meter samt diametern 300 millimeter; dess verkliga dimensioner. Längre uppströms i området varierade diametern mellan 100 och 900 millimeter. Medelvärde låg på ungefär 250 millimeter, vilket även sattes på ledningens diameter i tomtgatan.

Tanken med modellversionen var att enkelt kunna anpassa den till ett nytt område genom att ändra avrinningskoefficienter, ledningsdiametrar och lutningar. Modellresultatet måste multipliceras med en omskalningsfaktor för att skala upp områdets area till det verkliga områdets area. I detta fall var omskalningsfaktorn 7,5 och det verkliga områdets area 80 hektar.

Rak modell

En rak modell gjordes som en utveckling av den skalbara raka modellen. Skillnaden mellan modellversionerna var storleken på avrinningsområdets area samt storleken på spillvattenavrinningen. Avrinningsområdets totala area gjordes lika stort som Viksängsvägens verkliga avrinningsområde och spillvattenavrinningen anpassades till att gälla alla anslutna hushåll. Däremot var tomtgatan med ledning fortfarande endast en kilometer lång.

Förenklad grenad modell

En rak modell med detaljområde sattes upp som en blandning av den förenklade grenade modellen och den enkla typgatan. Viksängsvägen beskrevs detaljerat som i den grenade modellen, medan det övriga området sattes upp som en förenklad rak gata med tio avrinningsområden. Ledningssystemet gjordes lika långt som det verkliga systemet, totalt tolv kilometer, och arean på det totala avrinningsområdet åttio hektar. Spillvattenavrinningen anpassades för att gälla lika många hushåll som i verkligheten var anslutna till Viksängsvägens avrinningsområde.

3.2.5 Jämförelse av de förenklade modellerna

För att testa de förenklade modellerna jämfördes flödena i ledningen i Viksängsvägen med den detaljerade modellen. Den detaljerade modellen antogs vara en bra referens då den på bästa sätt efterliknade verkligheten.

Nederbördsserien från Pershagens nederbördsstation för tidsperioden juli till september 2009 användes vid simuleringarna och flödesvolymerna vid utloppsnoden jämfördes. Till varje modell lades sedan ett bräddavlopp till ledningen i Viksängsvägen och nya simuleringar gjordes. Flödesvolymerna vid bräddavloppet jämfördes också. Detta ansågs vara ett bra test av modellerna eftersom det speglade de egenskaper arbetet syftade till att undersöka. De modeller som inte gav ett tillfredsställande resultat förkastades.

3.2.6 VA-åtgärder

Olika åtgärder lades sedan till modellerna för att utreda om vattennivåerna i Viksängsvägens ledningar minskade. Simuleringarna gjordes med ett dimensionerande femårsregn. Viksängsvägens avrinningsområde sågs som ett ej instängt område inom citybebyggelse då det bedömdes finnas möjlighet att avleda dagvatten på markytan med hjälp av självfall. Ledningssystemet dimensionerades därför för att trycknivån i ledningarna inte fick nå upp till ledningshjässan oftare än vart femte år (tabell 1). En nederbördsserie för ett regn med fem års återkomsttid och varaktigheten 120 minuter skapades med hjälp av programmet CDS Regn. Det är ett program som skapar en nederbördsserie i form av en textfil med vald återkomsttid, varaktighet, regional Z-parameter, r -parameter samt tidssteg. r -parametern varierar mellan noll och ett och anger hur nederbörden fördelas över tidsaxeln. Ett lågt värde betyder att nederbördsintensiteten är störst i början och ett högt att den är störst i slutet av tidsperioden. Här används värdet 0,37 och ett tidssteg på fem minuter. För Södertälje

ligger den regionala Z-parametern på 16 (Svenskt Vatten 2004). Detta innebar en regnintensitet på ungefär 60 l/s·ha.

Som en första åtgärd lades en bräddledning till modellerna, det vill säga en ledning som vid överbelastat ledningssystem avleder överskottsvatten direkt ut till Igelstaviken. Bräddavloppet konstruerades som ett skibord till en anslutande bräddledning. Eftersom ledningen i Viksängsvägen har diametern 300 millimeter sattes underkanten på öppningen till två decimeter över ledningens bottennivå, öppningens bredd sattes till en meter. Bräddledningen fick en diameter på 400 mm.

Istället för att avleda överskottsvatten till recipienten via en bräddledning kan det tillfälligt lagras i ett utjämningsmagasin. Vid ett nederbördstillfälle är det samma vattenvolym som vid brädning som måste avledas från ledningen i Viksängsvägen, varför inga separata modellsimuleringar gjordes med magasin som åtgärd. Storleken på magasinet beräknades från volymen avloppsvatten som avleddes via bräddledningen.

Duplicering av ledningssystemet innebär att avrinningskoefficienten för det modellerade området sattes till noll. Därmed avleds bara spillvattenflödet i den kombinerade ledningen i Viksängsvägen.

Då dupliceringen inte utförs fullständigt anläggs dagvattenledningar utan dagvattenserviser i områden med kombinerat ledningssystem. Åtgärden innebär att områden med kombinerat ledningssystem görs om till områden med ej fullständigt duplicerat ledningssystem. Korrigeringar av avrinningskoefficienterna i området resulterade i att den totala avrinningskoefficienten minskade till 0,028.

En annan åtgärd att ta till då dagvattenflödena ska minskas är LOD. För Viksängsvägens avrinningsområde bedömdes denna åtgärd dock inte vara lämplig eftersom det inte finns utrymme för att anlägga diken i området. Dessutom skulle en noggrann geoteknisk undersökning behöva göras för att undersöka hur markförhållandena skulle förändras om fastighetsägarna började infiltrera dagvatten på tomterna.

3.3 UTSPÄDNINGSGRADER

Utspädningsgraderna för några av pumpstationerna i Viksängens avrinningsområde beräknades. Detta gjordes genom att dividera det totala vattenflödet vid den aktuella pumpstationen med torrvädersflödet under samma tidsperiod.

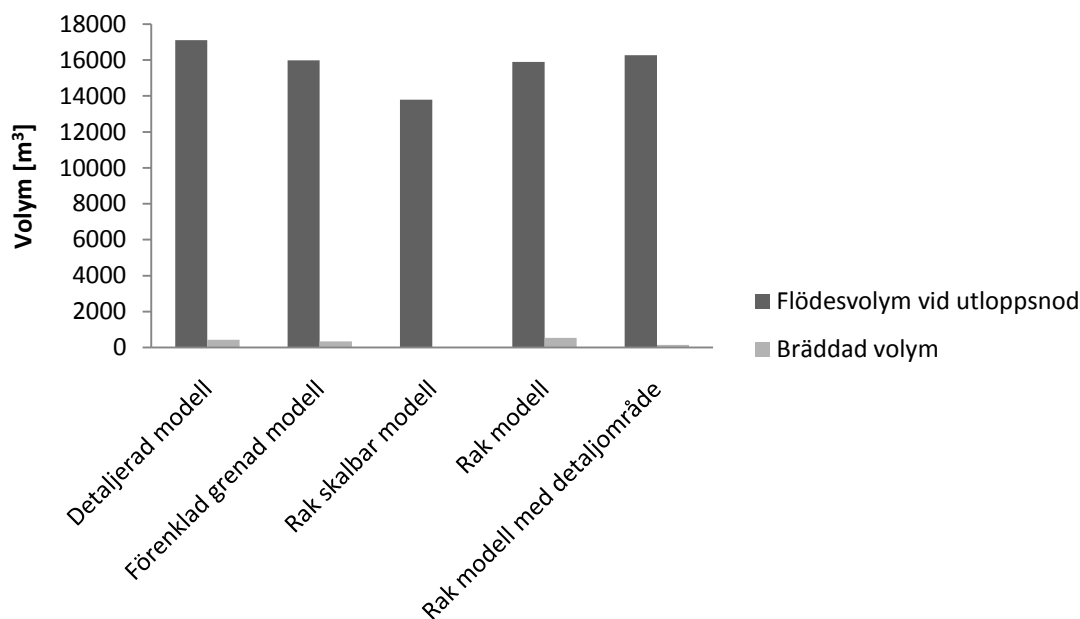
Nivådata för pumpstationernas pumpsumpar för år 2009 samt ritningar på pumpsumparna erhöles från Telge Nät. Med hjälp av nivådata och areor på pumpsumparna kunde flödet in till pumpstationerna beräknas. Den totala flödesvolymen under året beräknades sedan och torrvädersflödet uppskattades. Torrvädersflödet uppskattades genom att studera flödesdata för perioder utan regn i juli och augusti, eftersom det var då marken var som torrast och volymen tillskottsvatten minst.

4 RESULTAT

4.1 SIMULERINGSRESULTAT

4.1.1 Jämförelse av modeller

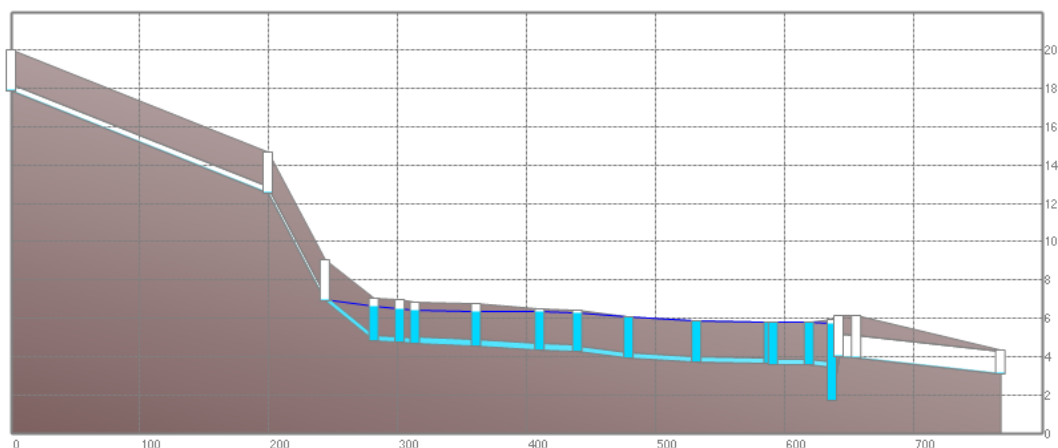
Den detaljerade modellen simulerades med nederbördsserien från juli till september 2009. Resultatet visade uppdämda vattennivåer i ledningen i Viksängsvägen vid ett flertal tillfällen, ibland ända upp till marknivå. För att testa de förenklade modellerna jämfördes dessa med den detaljerade modellen. Resultatet visas i figur 10.



Figur 10. Flödesvolym vid utloppsnoden samt bräddad vattenvolym för de olika modellerna, simulerat med nederbördsserien från juli till september 2009.

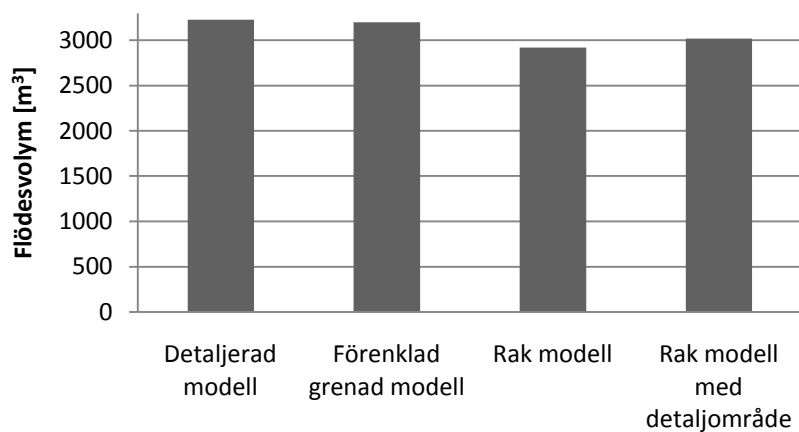
Figur 10 visar att flödesvolymen som simulerades med den raka skalbara modellen ligger lägre jämfört med de övriga modellerna. Modellen resulterade inte heller i några bräddvolym, vilket innebar att det var svårt att jämföra modellen med de övriga modellerna och den förkastades därför.

Vid ett dimensionerande nederbördstillfälle med en återkomsttid på fem år blev vattennivåerna i Viksängsvägen i den detaljerade modellen uppdämda till marknivå med översvämningar som följde, figur 11. I det övriga ledningssystemet var flödena normala utan dämda vattennivåer bortsett från ett ställe, vid en svacka i ledningssystemet, där det fanns en uppdämning.



Figur 11. Profilbild för den kombinerade ledningen i Viksängsvägen där vattennivån visas som en mörkblå linje efter simulering med den detaljerade modellen och ett dimensionerande femårsregn. Figuren visar noder med ledningar mellan. Den djupare noden till höger i profilbilden är Östertälje pumpstation.

Resultatet från den förenklade grenade modellen visade också på dämnda vattennivåer i Viksängsvägen vid ett femårsregn och i de övriga delarna av ledningssystemet fanns inga kapacitetsproblem. Även den raka modellen resulterade i uppdämnda vattennivåer i Viksängsvägen. Dessutom var vattennivåerna uppdämnda i hela det övriga ledningssystemet. Den raka modellen med detaljområde visade också på uppdämnda vattennivåer i Viksängsvägen och svagt uppdämnda nivåer i det övriga ledningssystemet. En sammanställning av alla modellers flödesvolym vid utloppsnoden visas i figur 12.



Figur 12. Jämförelse av flödesvolym vid utloppsnoden vid ett dimensionerande femårsregn.

Till höger i profilbilden i figur 11 syns Östertälje pumpstation som en djupare nod. Pumpstationen ser ut att begränsa flödet vid kraftiga flödestoppar. Ett test gjordes därför för att se vad som händer om pumpkapaciteten i stationen ökas, men inga större förändringar märktes.

4.1.2 VA-åtgärder

Bräddning

När en bräddledning anslöts till den detaljerade modellen i mitten av Viksängsvägen minskade vattennivåerna i ledningen markant. Det fanns dock fortfarande svagt uppdämda vattennivåer på vissa ställen. När en bräddledning lades till Viksängsvägen i den förenklade grenade modellen minskade också vattennivåerna, men även då fanns det en del ställen där vattennivån dämde upp svagt. Samma tendens visades i ledningen i Viksängsvägen i den raka modellen och i den raka modellen med detaljområde. I den raka modellen fanns även uppdämda nivåer i det resterande ledningssystemet. En jämförelse av bräddvolymen gjordes mellan de olika modellerna och resultatet visas i tabell 10.

Tabell 10. Bräddade vattenvolymer vid ett dimensionerande femårsregn då en bräddledning anslutits till ledningen i Viksängsvägen

Modell	Bräddvolym [m ³]
Detaljerad modell	320
Förenklad grenad modell	290
Rak modell	180
Rak modell med detaljområde	290

Resultatet visade att två bräddutlopp behövs för att vattennivåerna i ledningen i Viksängsvägen inte ska dämna över ledningshjässan. Kostnaden för att bygga två bräddutlopp och två brunnar med skibord beräknades till 400 000 kronor. Dessutom behöver två ledningar mellan brunnarna och utloppen byggas. Dessa behöver tillsammans vara ungefär 150 meter långa och kostnaderna för dem blir 600 000 kronor. Den minskade kostnaden för reningsverket då dess inflöde minskar beräknades till 930 kronor vid ett femårsregn.

Magasin

Med magasin som åtgärd behöver samma flödesvolymer som vid bräddåtgärden avledas. Detta resulterade i magasin med följande storlekar, tabell 11.

Tabell 11. Magasinsvolym som krävs för att ta hand om överskottsvattnet vid ett dimensionerande femårsregn för de olika modellerna

Modell	Magasinsvolym [m ³]
Detaljerad modell	320
Förenklad grenad modell	290
Rak modell	180
Rak modell med detaljområde	290

Ett magasin har ett bräddutlopp som ansluter i dess överkant, vilket används när magasinet blir överbelastat. Därför är det bra att bygga magasinet lite större än vad

tabellen anger, så vattennivån inte stiger ända till överkanten vid ett dimensionerande regn.

Kostnaden för att anlägga ett magasin med volymen 320 m³ beräknades med hjälp av schablonvärden till 4,8 miljoner kronor.

Duplicering

Duplicering av områden med kombinerat ledningssystem resulterade i att flödesvolymerna i ledningen i Viksängsvägen minskade kraftigt och risken för överbelastade ledningar försvann. Totalt behöver 1 700 meter ledningar anläggas för att duplicera hela området. Dessutom behöver 250 dagvattensserviser byggas och anslutas till fastigheterna. Dagvattenledningarna antogs behöva ha en medeldiameter på 450 millimeter. Detta resulterade i en kostnad på 7,7 miljoner kronor för utbyggnad av dagvattenledningar, 6,3 miljoner kronor för byggnad av dagvattensserviser samt 25 000 kronor för varje fastighetsägare för att ansluta sig till servisen.

Ett ledningssystem som byggs ut till ett ej fullständigt duplicerat system resulterade också i mindre flöden i ledningssystemet. Flödesminskningen visade sig dock inte vara så stor då många hårdgjorda ytor fortfarande är anslutna till spillvattensystemet. Vattennivåerna i ledningen i Viksängsvägen är fortfarande uppdämda till marknivå vid ett dimensionerande femårsregn, vilket resulterar i att till exempel bräddledningar ändå måste anläggas för att hålla nere vattennivåerna. Kostnaden för att delvis duplicera ett område beräknades till 7,7 miljoner kronor.

En reningsanläggning för dagvatten kostar omkring två miljoner kronor att anlägga.

4.2 KOSTNADSANALYS

En sammanställning av kostnadsberäkningarna för de olika åtgärderna på Viksängsvägen gjordes i tabell 12. I tabellen har hänsyn tagits till fyra parametrar som ansågs viktiga. Dessa var service mot abonnenter i området, hur åtgärden påverkar recipienten och reningsverket samt kostnader.

Tabell 12. Sammanställning av kostnadsberäkningar för olika åtgärder i Viksängsvägen. Grön markering betyder positiv påverkan, röd negativ och 0 ingen förändring mot nuvarande situation

Åtgärd	Service mot abonnenter	Recipient-påverkan	Påverkan på reningsverk	Kostnader
Befintligt system	●	●	0	0 kr
Bräddning	●	●	0	1 miljoner kr
Magasin	●	●	0	4,8 miljoner kr
Duplicering	●	●	●	14 miljoner kr + 25 000 kr/fastighet
Duplicering med rening	●	●	●	16 miljoner kr + 25 000 kr/fastighet
Delvis duplicering	●	●	●	7,7 miljoner kr

4.3 UTSPÄDNINGSGRADER

Utspädningsgrader för några av pumpstationernas avrinningsområden i Viksängen beräknades, tabell 13.

Tabell 13. Utspädningsgrad för några pumpstationer i Viksängens avrinningsområde

Pumpstation	Utspädningsgrad
Badhuset	1,27
Baltic	1,22
Hovsjö	1,21
Igelsta	1,64
Östertälje	1,28

5 DISKUSSION

5.1 MODELLUTVÄRDERING

Simuleringar med en nederbördsserie från sensommaren 2009 visade att flödesvolymerna vid utloppsnoden från den förenklade grenade modellen, den raka modellen samt den raka modellen med detaljområde låg relativt nära flödesvolymen från den detaljerade modellen. Däremot låg flödesvolymen från den raka skalbara modellen lägre. Det var svårt att jämföra resultatet från den raka skalbara modellen. Flödet skalades upp, men var fortfarande mindre än flödet från de övriga modellerna. Att modellresultatet skalades upp innebär även att ledningarnas tvärsnittsarea skalades upp. Därmed blir flödet inte rätt proportionerligt mot ledningskapaciteten. Eftersom flödet i ledningarna var litet jämfört med ledningskapaciteten, resulterade modellen inte i några uppdämda vattennivåer eller bräddningar. Därmed gick det inte att göra någon jämförelse när det gäller bräddvolym. Då resultatet för den raka skalbara modellen inte gav ett liknande resultat som den detaljerade modellen och dessutom var svår att jämföra med de övriga förenklade modellerna förkastades den utan vidare utredningar.

Vid ett dimensionerande femårsregn gav den detaljerade modellen ett flöde som resulterade i dämnda vattennivåer i Viksängsvägen. Där nådde vattennivåerna ända upp till marknivå med översvämningar som följd. I det övriga ledningssystemet var flödena mer normala utan uppdämda nivåer. De förenklade modellerna visade också uppdämda vattennivåer i Viksängsvägen vid ett femårsregn. Den förenklade grenade modellen resulterade inte i några kapacitetsproblem i det övriga ledningsnätet. Den raka modellen gav däremot uppdämda vattennivåer i större delen av det övriga ledningssystemet, medan den raka modellen med detaljområde visade svagt uppdämda nivåer i vissa delar av det övriga systemet. Att den förra modellen visade uppdämda nivåer i hela ledningssystemet antogs bero på att ledningsslängden inte var anpassad till området area. Därmed hade modellen ett för litet ledningssystem i förhållande till vattenvolymer som ska avledas. Att den raka modellen med detaljområde visade svagt uppdämda vattennivåer i det övriga systemet antogs bero på att ledningssystemet bestod av en enda rak ledning. I det verkliga systemet är ledningssystemet grenat och kapaciteten i ledningarna blir större då flera ledningar ligger parallellt.

Sammanställningen av modellernas flödesvolym vid utloppsnoden visade att den detaljerade modellen och den förenklade grenade modellen resulterade i liknande flödesvolym. Även den raka modellen med detaljområde visade ett liknande resultat. Den raka modellen visade mest avvikande resultat. Även när det gällde bräddvolym visade denna ett avvikande resultat varför den inte ansågs beskriva vattennivåerna i Viksängsvägen tillräckligt bra och förkastades. Den raka modellen med detaljområde visade upp ett hyfsat bra resultat. Modellen tar hänsyn till avrinningsområdets storlek och ledningssystemets längd. Den tar däremot inte hänsyn till ledningssystemets struktur och vattennivåerna dämmer därför svagt upp i ledningarna uppströms Viksängsvägen, där kapaciteten blir för liten.

Av de modeller som undersökts visade resultaten att den förenklade grenade modellen var den modell som bäst beskrev flödessituationen i Viksängsvägen. Fördelen med modellen var att den tar hänsyn till hela avrinningsområdets area samt ledningssystemets längd och struktur. Att sätta upp en grenad modell kräver lite mer arbete jämfört med de enklare modellerna, men då resultatet blir säkrare kan det ändå vara värt det extra arbetet. Den del av ledningssystemet där det misstänks vara problem beskrivs i detalj, medan de anslutande ledningarna förenklas. Sedan ställs områdets parametrar in genom att ändra avrinningskoefficienter, spillvattenflöden samt dimensioner på ledningssystemet. För att anpassa en sådan modell krävs en del kunskap om området som undersöks. Det går dock betydligt snabbare jämfört med att anpassa en detaljerad modell.

Eftersom den detaljerade modellen kalibrerades mot uppmätta data förväntas den ge en korrekt bild av verkligheten. Den förenklade grenade modellen gav ett liknande resultat som den detaljerade modellen och antogs därmed också ge en bra bild av verkligheten. Det fanns dock en del felkällor som kan ha påverkat modelleringsresultatet. Nederbördsserien som användes när den detaljerade modellen kalibrerades var från en närliggande pumpstation. Då det modellerade flödet jämfördes med flödet som beräknats från uppmätta data upptäcktes en viss skillnad i flödesserierna. Flödestopparna låg inte alltid på samma ställen, vilket antogs bero på lokala nederbördsvariationer. Flödestopparna kalibrerades till samma storlek, men en nederbördsserie från Östertälje pumpstation hade gett en säkrare kalibrering. En annan felkälla var avrinningskoefficienterna. Det är svårt att ta fram korrekta avrinningskoefficienter utan en ordentlig kalibrering. I det här projektet visade sig till exempel avrinningskoefficienterna som uppskattats från områdesinformationen vara dubbelt så höga jämfört med vad kalibreringen visade. Det här skulle kunna bli ett problem när modellen ska tillämpas på andra områden. Då ska området inte behöva kalibreras utan avrinningskoefficienterna får beräknas från uppskattade ytor.

PCSWMM är ett förenklat modelleringsverktyg, men har fördelar i och med att det går relativt enkelt och snabbt att sätta upp en modell. Det finns andra modelleringsverktyg som är betydligt mer avancerade, exempelvis Mike Urban från DHI (Danskt Hydrauliskt Institut). Med ett sådant program blir modellen mer avancerad men tar längre tid att sätta upp. I många fall är det viktigt att snabbt skapa sig en bild över var insatser i ett område ska prioriteras och det är i detta fall förenklade modeller kommer till användning. Modellen som tagits fram i det här examensarbetet anses vara tillräcklig för att skapa sig en bild av problemet och vad som kan behöva göras för att åtgärda det, men det ska noteras att modellen ger en förenklad bild av verkligheten och en mer avancerad modell kan behöva sättas upp innan en åtgärd ska sättas in.

5.2 VA-ÅTGÄRDER

Om ingen åtgärd sätts in på Viksängsvägen kommer området även fortsättningsvis att drabbas av marköversvämningar och det finns en risk för att närliggande fastigheter ska drabbas av källaröversvämningar. Dessutom är det inte trevligt för människor som vistas i området när marköversvämningar sker med tanke på att lukt och slam kan följa

med avloppsvattnet till markytan. Risken för källaröversvämningar anses dock vara liten då de flesta fastigheter närmast den överbelastade ledningen i Viksängsvägen ligger i en sluttning och spillvattensserviserna ligger relativt högt över spillvattenledningen. Även bräddningarna från Östertälje pumpstation kommer att fortsätta om ingen åtgärd sätts in, vilket innebär att Igelstaviken kommer att påverkas av näringsämnen och föroreningar från ledningssystemet. Kostnaden för att inte sätta in några åtgärder blir låga, men istället kan oförutsedda kostnader uppkomma i samband med eventuella skador vid marköversvämningar och källaröversvämningar.

Resultatet från simuleringarna visade att bräddningar avhjälpas problemet med höga vattennivåer i Viksängsvägen bra. Vattennivån i ledningen dämmer fortfarande upp något på vissa ställen och för att minska vattennivån i ledningen ytterligare krävs två bräddavlopp. Eventuellt kan mer detaljerade studier göras för att se om ett större utlopp skulle medföra att bara en bräddledning behövs. Bräddningar visade sig vara en billig åtgärd som förväntas avlägsna överbelastningsproblemen i Viksängsvägen.

Bräddavloppen jämnar dessutom ut flödet till reningsverket genom att dämpa flödestopparna. Bräddavlopp bör däremot inte anläggas i närheten av badplatser eller rekreativområden på grund av risken att avloppsvatten ansamlas eller flyter upp till ytan. Vid Viksängsvägen ligger en småbåtshamn, vilket bör beaktas vid val av åtgärd. Bräddvatten som släpps ut till Igelstaviken kommer att ha negativa konsekvenser på recipienten. Utspädningsgraden på bräddvattnet kommer dock att vara hög då mängden tillskottsvatten vid flödestopparna är hög. Den minskade kostnaden för reningsverket som uppstår då avloppsvatten bräddar från ledningssystemet är obetydlig jämfört med vad det kostar att anlägga ett bräddavlopp.

Även med utjämningsmagasin förväntas mark- och källaröversvämningarna upphöra helt. Dessutom utjämnar magasinet flödestopparna till reningsverket samt motverkar bräddningar. Eftersom magasinet fungerar som en mellanlagringsstation innebär ett rätt dimensionerat magasin att bräddningar och därmed recipientpåverkan upphör helt. Magasinet kan med fördel byggas i anslutning till pumpstationen i Östertälje. Då kan magasinet användas som en extra pumpsump vid höga flöden och ingen extra pump behöver byggas. Ett magasin är dyrare att bygga jämfört med bräddavlopp, men har mindre negativa konsekvenserna på miljön och för människorna som vistas i området. Vid Viksängsvägen behöver två magasin med en total volym på drygt 320 kubikmeter anläggas.

Duplicering är en bra och effektiv åtgärd för att bli av med överbelastningsproblem i ett ledningssystem. Åtgärden tar bort risken för överbelastning eftersom dagvattnet avleds i separata ledningar som inte påverkar spillvattenledningarna. Det krävs dock att nya dagvattenledningar samt dagvattensserviser anläggs på de gator där det inte finns. Det kräver också att fastighetsägarna kopplar om sina anslutna ytor till de nya dagvattensserviserna, vilket ofta anses dyrt. Ett fåtal felaktigt anslutna takytor kan ha stor påverkan på flödet i spillvattenledningarna. Duplicering är en dyr investering för kommunen. I Östertälje beräknades kostnaden för att duplicera området till 14 miljoner kronor.

Som ett första steg i utbyggnaden av ett duplicerat ledningssystem kan dagvattenledningar anläggas i gatorna utan att fastigheterna ansluts med serviser. Då kommer större delen av de asfalterade ytorna kopplas bort från spillvattensystemet, takytorna kommer dock fortfarande vara anslutna. Resultatet visade att den här åtgärden inte innebar några större förändringar på flödesvolymen i spillvattensystemet vid ett femårsregn och den räcker inte som ensam åtgärd för att motverka överbelastningen. Resultatet var dock osäkert då avrinningskoefficienterna inte hade kunnat bestämmas med säkerhet. Avrinningskoefficienterna kalibrerades efter uppmätta data, men koefficienternas fördelning mellan olika bebyggelsetyper och typer av ledningssystem är osäker. Därmed var det svårt att säga hur stor del av det avrinnande vattnet som kom från hustak respektive asfalterade ytor. Att åtgärden dessutom visade sig vara relativt dyr och att den krävde komplettering med en annan åtgärd, exempelvis bräddavlopp, gjorde att den inte rekommenderades.

En reningsanläggning kan byggas i anslutning till dagvattenledningarnas utlopp för att ta hand om det smutsiga dagvattnet innan det släpps ut till Igelstaviken. Reningsgraden på en dagvattendamm ligger förhållandevis högt, till exempel mellan 50 och 80 procent för tungmetaller. Det blir dock en dyr åtgärd eftersom dagvattenanläggningen byggs i kombination med duplicering av ett område.

En alternativ åtgärd kunde varit att leda om en del av spillvattnet från området. Det kunde ha gjorts genom att upprätta en ny anslutning till tunneln som leder till Himmerfjärdsverket. Den lösningen har dock utretts och avfärdats av Sweco redan tidigare (Sweco 2009). Resultatet visade att lösningen inte var lämplig eftersom det inte går att upprätta en bra anslutning till en lämplig kostnad då ledningssystemet ligger fel i förhållande till tunneln.

Simuleringsresultaten tydde på att pumpstationen i Östertälje begränsade flödet i Viksängsvägen. En ny simulering med ökad pumpkapacitet gjordes därför. Resultatet visade att vattennivåerna närmast pumpstationen minskade, men längre uppströms Viksängsvägen var nivåerna fortfarande kraftigt uppdämda. Denna åtgärd avhjälper alltså inte de uppdämda vattennivåerna i Viksängsvägen.

När åtgärd ska väljas bör konsekvenserna på miljön och människorna som bor och vistas i området jämföras med kostnaden för att sätta in en åtgärd. Kostnadsutredningen i detta arbete är inte tänkt att vara en slutgiltig utredning utan ska användas för att ge en uppfattning om vilka alternativ som ska utredas vidare. Den ger en grov uppfattning om kostnadernas storleksordning, men inga exakta svar. När beslut tagits om att sätta in en viss åtgärd bör en noggrannare studie göras av området, både när det gäller flödessimuleringar och kostnadsberäkningar. För det krävs mer detaljerad områdesinformation, eventuellt i kombination med flödesmätningar i några utvalda punkter.

5.3 UTSPÄDNINGSGRADER

Utspädningsgraderna som beräknades för några av pumpstationerna i Viksängens avrinningsområde var låga och visade inte på några större problem med tillskottsvatten. Det ska dock noteras att noggrannare beräkningar av utspädningsgraden kan göras med tillgång till vattenförbrukningen i området. Då kan torrvädersflödet bestämmas med större noggrannhet. Det vore även intressant att beräkna utspädningsgraderna för resterande pumpstationers avrinningsområden för att utreda om utspädningsgraden är större i andra delar av området.

Den höga utspädningsgraden som beräknats för Igelsta avrinningsområde är mycket osäker då flödesmönstret inte var helt normalt för en pumpstation. Flödet uppvisade ingen direkt nederbördspåverkan och var relativt konstant, men med stora variationer inom ett mindre intervall. Detta medförde svårigheter med att bestämma ett korrekt torrvädersflöde. Någon större vikt bör därför inte läggas vid det beräknade värdet.

6 SLUTSATSER

Slutsatsen av de jämförelser som gjordes mellan modellerna var att den förenklade grenade modellen gav bäst beskrivning av flödessituationen i Viksängsvägen. Modellen tar hänsyn till avrinningsområdets storlek samt ledningssystemets längd och struktur. Det tar lite längre tid att sätta upp en grenad modell jämfört med de raka modellerna, men då resultatet blir säkrare kan det vara värt det extra arbetet. Modellen går relativt snabbt att sätta upp och kan enkelt anpassas till ett nytt område. Modellen kräver en del information om ledningssystemets uppbyggnad och de hårdgjorda ytornas fördelning i området, men det går ändå betydligt snabbare att sätta upp en sådan modell jämfört med en fullständig detaljerad modell.

Förenklade modeller kan med fördel användas för att skapa sig en översiktlig bild, upptäcka problem och för att uppskatta olika va-åtgärders effekter i ett ledningssystem. För att dimensionera en åtgärd krävs dock att mer detaljerade modeller sätts upp. Modellen som tagits fram i det här examensarbetet är tillräcklig för att ge en översiktlig bild av ett eventuellt problem i ett studerat ledningssystem och vad som kan behöva göras för att åtgärda det.

Den åtgärd som rekommenderas för det undersökta området i Södertälje är att bygga utjämningsmagasin i anslutning till Viksängsvägen. Detta för att kostnaden är relativt liten tillsammans med de positiva effekter åtgärden har på miljön och människorna som bor och vistas i området. Ett rätt dimensionerat utjämningsmagasin förväntas avlägsna alla risker för bräddningar och översvämningar vid ett femårsregn.

Bräddningar är den billigaste åtgärden, men har fler negativa konsekvenser på miljön och människorna. Dessa konsekvenser bedömdes vara för allvarliga för att motivera den lägre kostnaden. Duplicering visade sig vara ett mycket dyrt alternativ i ett befintligt område och ses därför inte som en rimlig åtgärd.

7 REFERENSER

Bergström A. (2005). *Metod för bedömning av dagvattenutsläpp till sjöar i Stockholmsområdet*. Institutionen för Samhällsbyggnad, avdelningen för VA-teknik, Luleå tekniska universitet.

Computational Hydraulics International (2009a). Hämtat från <http://www.computationalhydraulics.com/Software/PCSWMM.NET/Help/>, 2009-09-15.

Computational Hydraulics International (2009b). Hämtat från <http://www.computationalhydraulics.com/Software/PCSWMM.NET/index.asp>, 2009-09-15.

Crowe C.T., Elger D.F, Roberson J.A. (2005). *Engineering Fluid Mechanics*. 8th ed., John Wiley & Sons, New York.

Falk J. (2007). *Erfarenheter av kommunala dagvattendammar*. Svenskt Vatten Utveckling, rapport nr 2007-14.

Frimodt K-O (2008). *Användarvänlighet hos programverktyg för beräkningar av flöden och dämningnivåer i avloppsnät – en jämförelse av SWMM, PCSWMM, Mike Urban och SewerGEMS*. Examensarbete UPTEC W08 025, Uppsala universitet.

Gustafsson B., Svensson G. (1992). *PRISEK – Prioritering, Samhällskonsekvenser, Ekonomi*. VA-Forsk, Svenska vatten- och avloppsverksföreningen (VAV).

Larm T. (1994). *Dagvattnets sammansättning, recipientpåverkan och behandling*. Svenska vatten- och avloppsverksföreningen (VAV) i samarbete med KTH och Stockholm Vatten AB.

Lehto E. (2001). *Sammanfattning av utförda utredningar tillskottsvatten*. Södertälje kommun.

Miljöbalken (2009). Hämtat från <http://www.notisum.se/rnp/sls/lag/19980808.HTM>, 2009-10-20.

Naturvårdsverket (1993). *Bräddning från avloppsledningar. Kontroll av bräddning och bräddningsmängder*. Hämtad från http://www.naturvardsverket.se/Documents/allmrad/ar_93_6.pdf, 2009-10-17.

Stenvall B., Linder M., Larm T. (2006). *Utredning dagvatten – Verksamhetsområdet för Stockholm/Nynäshamns Hamn*. Sweco VIAK, Östra regionen, Dagvatten och ytvatten.

Stockholms Stad (2005). *Dagvattenstrategi för Stockholm Stad*. Hämtat från <http://www.stockholmvatten.se/Stockholmvatten/commondata/infomaterial/Avlopp/dagvattenstrategi.pdf>, 2009-09-15.

Stockholm Vatten AB (2001). *Klassificering av dagvatten och recipienter samt riktlinjer för reningskrav, del 2. Dagvattenklassificering*. Hämtat från <http://www.stockholmvatten.se/Stockholmvatten/commondata/rapporter/avlopp/Dagvatten/Dagvattenklassificeringdel2.pdf>, 2009-09-15.

Svenskt Vatten AB (2004). *Publikation P90 – Dimensionering av allmänna avloppsledningar*. Svenskt Vatten AB, Stockholm.

Svenskt Vatten AB (2007). *Klimatförändringarnas inverkan på allmänna avloppssystem*. Svenskt Vatten AB, Meddelande M134.

Svensson G., Svensson G., Widenberg P. (2007). *Föroreningar från avloppssystem till Långsjön – Åtgärder för att minska bräddningar och föroreningsbelastningar till Långsjön*. DHI Water & Environment.

Sweco Environment AB (2009). *Telge Nät – Viksängsvägen*. Stockholm.

SYVAB (2010). Hämtat från <http://www.syvab.se/378/Om-bolaget.html>, 2010-01-04.

Södertälje kommun, Samhällsbyggnadskontoret (10 januari 2010). *Befolkningsutveckling Södertälje kommun 1999-* Hämtat från <http://www.sodertalje.se/pages/724/Befolkningsutveckling%20S%C3%B6dert%C3%A4lje%20kommun%201999-.pdf>.

U. S. Environmental Protection Agency (2009). Hämtat från <http://www.epa.gov/ednrmrl/models/swmm/>, 2009-09-18.

Widarsson L-E. (2007). *Drivkrafter för hållbar dagvattenhantering*. Svenskt Vatten Utveckling, rapport nr 2007-04.

Personlig kontakt:

Giertz Tommy (2009). Uppdragsledare VA, Sweco Environment Stockholm.

Hammarlund Hans (2009). Uppdragsledare VA, Sweco Environment Stockholm.

Olsson Alf (2010). Uppdragsledare VA, Sweco Environment Stockholm.

Material till modeller:

Telge Nät (2009). Underlagsfiler till modeller, pumpstationsritningar och nivådata, avrinningskarta för Viksängens avrinningsområde.