

Metodik för bestämning av hårdgjorda ytor i beräkningsmodeller för Stockholms huvudavlopps nät

Methods to determine the impervious surface
in numeric models of Stockholm's sewer system

Marcus Lundmark

REFERAT

Metodik för bestämning av hårdgjorda ytor i beräkningsmodeller för Stockholms huvudavloppsnät

Marcus Lundmark

Den ökande urbaniseringen innebär att dagens avloppssystem blir mer invecklande och komplexa. För Stockholms stad har det under de senaste 20 åren upprättats detaljerade datormodeller för delar av avloppssystemet. För att ge en helhetsbild av situationen har det mellan åren 2003 till 2007 skapats en övergripande beräkningsmodell över Stockholms huvudavloppssystem. Modellen är indelad i fyra delmodeller.

Syftet med detta examensarbete var att studera och utveckla indelningen av hårdgjorda ytor i den övergripande modellen för Stockholms avloppssystem. Allmänt vid upprättande av ytavrinningsmodeller, likt modellen över Stockholms huvudavloppsnät, utgör avrinningen från nederbörd från hårdgjorda ytor en stor andel av den totala belastningen på spillvattennätet. Det är därför av intresse att studera storleken av ytavrinningen från olika hårdgjorda ytor. I detta examensarbete tillfördes nya indelningar och ny information om de hårdgjorda ytorna i den befintliga beräkningsmodellen. Två huvudsakliga indelningar studerades i arbetet. Den första var indelning av hårdgjorda ytor efter byggnadsålder. I den andra delades hårdgjorda ytor från fastigheter in efter om fastighetsägaren betalade reducerad dagvattentaxa eller inte. Utöver nya indelningar undersöktes även möjligheten att förenkla beräkningsmodellen med bibehållen noggrannhet. I arbetet undersöktes även hur ett öppet alternativt slutet byggnadssätt påverkade mängden avrunnet vatten från hårdgjorda ytor. Avrinningskoefficienter för olika typer av hårdgjorda ytor från den befintliga beräkningsmodellen studerades för möjligheten att öka modellens förklaringsgrad.

Indelningen av de hårdgjorda ytorna efter byggnadsålder uppvisade inte det slutresultat som förväntades. Införandet av informationen om fastigheter med reducerad dagvattentaxa förbättrade modellens noggrannhet något. Informationen förklarade emellertid inte den stora spridningen mellan modellerade och uppmätta volymer avrunnet dagvatten. Modellens noggrannhet ökade om avrinningskoefficienterna för samma typ av hårdgjord yta valdes olika beroende på ett slutet eller öppet byggnadssätt. Förenkling av modellen från 3 typområden till 2, resulterade i bevarad noggrannhet. Slutsatsen från detta examensarbete är att informationen om fastigheter med reducerad dagvattentaxa och indelning efter byggnadsålder inte nämnvärt ökade modellens noggrannhet. Modellens noggrannhet kunde bibehållas vid en förenkling från 3 till 2 typområden.

Nyckelord: Avloppsmodell, hårdgjord yta, avrinningskoefficienter, Mike Urban
*Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet
Villavägen 16, SE 752 36 Uppsala ISSN 1401-5765*

ABSTRACT

Methods to determine the impervious surface in numeric models of Stockholm's sewer system

Marcus Lundmark

The growing urbanization of today, result in more complex and complicated sewer system. During the last twenty years elaborate models of Stockholm's major sewer system has been developed. To make models more complete, during 2003-2007 a global model have been made for Stockholm's main sewer system, including four sub models.

The aim of this master thesis was to evaluate the classification of the impervious surfaces in the overall models of Stockholm's sewer system. As the surface runoff from impervious surfaces, when constructing surface run-off models, is a major part of the total load in the sewer system, it's of interest to study the impact of the runoff from impervious surfaces. In this master thesis new classifications and new information were conducted to the model, according to the impervious surfaces. Two major classifications of the impervious surfaces were made. In the first classification the surfaces was dived based on the year of constructing. In the second the surfaces was classified according to real estate with reduced day water payment.

Besides the new classifications in the model, the possibility to simplify the model and maintain its accuracy was also investigated where, in order to increase the accuracy of the model, the values of the run-off coefficients were analyzed. The classification, based on year of constructing did not have the expected effect. The accuracy of the model only increased a little when the information regarding real estate with reduced day water payment was included. The information did not fully explain the big variation between modulated and calculated values for the volume of the water.

The accuracy of the model increased a little when the run-off coefficients for the same type of impervious area where chosen differently regarding open or closed building system. The simplification in this study, from three type areas into two type areas, maintained the precision of the overall model regarding its standard deviation and mean value. The conclusions of this master thesis was that the information regarding real estate with reduced day water payment and classification of the impervious areas after year of constructing did not increase the accuracy of the model. The accuracy of the model was maintained when the type areas where reduced from three to two.

Keyword: Sewer system model, impervious surface, run-off coefficients, Mike Urban

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

FÖRORD

Examensarbetet har utförts som en avslutande del av civilingenjörsprogrammet miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet. Examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng och är gjort vid Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.

Arbetet är utfört vid Sweco Environment, Stockholm, avdelning 1134. Jag vill tacka alla medarbetare på grupp 1134 för svar på frågor och funderingar under arbetets gång. Ett speciellt tack till mina handledare vid Sweco, Hans Hammarlund och Alf Olsson.

Jag vill tacka min handledare vid Uppsala universitet, Hanna Ridefelt för dina snabba svar och den goda responsen på mitt arbete.

Uppsala 2010

Marcus Lundmark

Copyright © Marcus Lundmark och Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet. UPTEC W09 031, ISSN 1401-5765
Tryckt hos Institutionen för geovetenskaper, Geotryckeriet, Uppsala universitet, Uppsala, 2010.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Metodik för bestämning av hårdgjorda ytor i beräkningsmodeller för Stockholms huvudavloppsnät

Marcus Lundmark

För en tid sedan bodde en majoritet av den svenska befolkningen på landsbygden. Utvecklingen går emellertid mot att fler och fler människor söker sig till städer och urbaniserade områden av olika orsaker. Den ökande urbaniseringen ställer vissa krav på människan, inte minst krav på ett fungerande avloppssystem för att upprätthålla en god hygienisk status. I Stockholms stad utvecklas och förnyas avloppsledningsnätet ständigt. Det krävs hela tiden nya beslut och åtgärder för att upprätthålla god status på avloppsledningsnätet. För att öka kunskaperna och underlätta beslutsfattande har det mellan åren 2003 och 2007 upprättats en datormodell för avloppsledningsnätet inom Stockholm Vattens verksamhetsområde. Modellen är indelad i fyra mindre delmodeller.

Syftet med den ursprungliga modellen är bland annat att ge en övergripande funktionskontroll av det befintliga ledningsnätet, beräkna den hydrauliska funktionen av huvudavloppsnätet samt att utvärdera effekten av planerade åtgärder. Vid upprättande av hydrologiska modeller inom urbana områden används huvudsakligen ytavrinningsmodeller. De tar endast hänsyn till den snabba ytavrinningen som mestadels härrör från avrinning från hårdgjorda ytor. Modellen är uppbyggd i modelleringsprogrammet Mike Urban, vilket är ett av flera möjliga modelleringsprogram på marknaden.

Mike Urban har tre fördefinierade typområden, vilka avrinningsområden kan delas in i, *combined*, *wastewater* och *stormwater*. I modellen är indelningen i typområden baserad på förekomsten av dagvattenledningar och dagvattenserviser. Avloppssystem byggs idag som separerade system, med separat ledningar för spill och dagvatten. Historiskt sätt har avloppssystem byggts som kombinerade system. Beroende på typ av ledningssystem kommer olika stor andel av nederbörden att ledas bort i spillvattenledningar respektive dagvattenledningar. Tanken med typområden är att försöka beskriva skillnaden i hur mycket av nederbörden som leds bort i spillvattenledningar gentemot dagvattenledningar. Det görs genom att avrinningskoefficienterna för olika typer av hårdgjord yta väljs olika beroende på typområde.

Syftet med detta examensarbete var att utifrån den övergripande modellen över Stockholms avloppsnät utvärdera indelningen av de hårdgjorda ytorna, samt utvärdera valet av avrinningskoefficienter för respektive yta och indelning. Målsättningen var att genom att införa nya indelningar av hårdgjorda ytor och justera avrinningskoefficienterna för de hårdgjorda ytorna öka modellens noggrannhet. Avrinningskoefficienterna anger andelen av den totala hårdgjorda ytan som bidrar till avrinning. Målsättningen var att modellerade flöden skulle ha en noggrannhet på +/- 30

procent gentemot uppmätta flöden. Det i sin tur skulle innebära att kalibrering av modellen gentemot flödesdata inte skulle vara nödvändig.

Examensarbetet är baserat på resultaten från den övergripande modellen över Stockholms huvudavloppsnät. Inga nya flödesmätningar eller simuleringar är utförda. Kalibrerade värden på de hårdgjorda ytorna i modellen har ansetts vara de sanna ytorna. Med kalibrerade hårdgjorda ytor menas att de hårdgjorda ytornas areal är justerad för att den modellerade ytavrinningen skall stämma överens med den uppmätta ytavrinningen.

Byggnadsålderns inverkan på ytavrinningens storlek studerades i arbetet eftersom byggnadsnormer och byggnadskonstruktioner skiftat under historien. Avrinningsområden delades in i olika kategorier beroende åldern på kombinerade och spillvattenledningar. I de fyra olika delmodellerna infördes information gällande fastigheter vilka betalar reducerad dagvattentaxa. Fastigheter med reducerad dagvattentaxa tar helt eller delvis hand om sitt dagvatten lokalt inom fastigheten, exempelvis genom att låta takvatten avrinna på gräsmattan. I arbetet undersöktes möjligheten att minska antalet typområden från 3 till 2 med en bevarad noggrannhet av modellen. Avrinningskoefficienter för olika hårdgjorda ytor och typområden justerades för att förbättra modellens noggrannhet. Nya indelningar av avrinningsområden gjordes efter slutet och öppet byggnadssätt, i områden med tätare bebyggelse tilldelades de hårdgjorda ytorna högre avrinningskoefficienter jämfört med områden med ett öppnare byggnadssätt.

Informationen gällande byggnadsålder på spillvatten och kombinerade ledningar uppvisade inte förväntat resultat. Införandet av informationen om fastigheter med reducerad dagvattentaxa förklarade en del av skillnaden i modellerade och uppmätta flöden. Informationen kunde emellertid inte förklara spridningen av modellerade och uppmätta flöden i modellen. De områden som innehöll ett stort antal fastigheter med reducerad dagvattentaxa var framförallt är *combined*-områden. För *combined*-områden utgör vägar och gator den procentuellt sätt största delen av den hårdgjorda ytan i området. Det medför att arealen av vägar och gator är av stor betydelse för det slutgiltiga resultatet. Modellens noggrannhet kunde bevaras då antalet typområden minskades från 3 till 2. Då avrinningskoefficienterna reducerades närmade sig de modellerade flödena de uppmätta flödena. Emellertid ökade även standardavvikelsen för de modellerade värdena jämfört med uppmätta värden.

Vid indelning av avrinningsområdena i öppet och slutet byggnadssätt ökade modellens noggrannhet om värdet på avrinningskoefficienterna reducerades för områden med ett öppet byggnadssätt. Indelningen visar att det finns skillnader i hur likvärdiga hårdgjorda ytor bidrar till ytavrinningen beroende på geografisk placering.

Arbetet visar att det utsatta målet med en modellnoggrannhet +/- 30 procent utan kalibrering gentemot uppmätta flöden är svåruppnåeligt. Kalibrering gentemot flödesdata är nödvändigt.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING	3
1.2 SYFTE OCH AVGRÄNSNINGAR	4
1.1 BAKGRUND.....	5
1.3 DEFINITIONER.....	7
2 VETENSKAPLIG BAKGRUND	8
2.1 VATTNETS KRETSLOPP	8
2.2 INFILTRATION OCH YTAVRINNING	9
2.3 HÅRDGJORDA YTOR.....	10
2.3.1 Manuell kartering av hårdgjorda ytor	10
2.2.2 Avrinningskoefficienter efter landområdestyper.....	12
2.3 HYDRAULISKA MODELLER.....	12
2.3.1 Fysikaliskt modellbygge	13
2.3.2 Identifiering	13
2.3.3 Ytavrinningsmodeller.....	14
2.3.4 Kontinuerliga hydrauliska modeller.....	14
3 MATERIAL OCH METODER	16
3.1 MATERIAL	16
3.1.1 Avrinningsområden	16
3.1.2 Avrinningskoefficienter.....	17
3.1.3 Kalibrering av modell.....	17
3.2 DELMODELLER	20
3.2.1 Bromma	21
3.2.2 Henriksdal södra	21
3.2.3 Henriksdal norra	22
3.2.4 SYVAB.....	22
3.3 METODER	23
3.3.1 Arbetsgång	23
3.3.2 Reducerad dagvattentaxa	25
3.3.3 Byggnadsålder efter kombinerade- och spilvattenledningarnas anläggningsår	27
3.3.4 Slutet och öppet byggnadssätt	28
4 RESULTAT	30
4.1 BROMMAMODELLEN	30
4.2 HENRIKSDAL NORRA	33
4.3 HENRIKSDAL SÖDRA.....	36
4.4 SYVAB-MODELLEN	39
4.4 SLUTET OCH ÖPPET BYGGNADSSÄTT	41
5 DISKUSSION	44
5.1 REDUCERAD DAGVATTENTAXA	44
5.2 INDELNING EFTER BYGGNADSÅLDER.....	45
5.3 KALIBRERING AV STORMKOEFFICIENTER	45
5.4 INDELNING I TVÅ TYPOMRÅDEN, COMBINED OCH STORMWATER	45
5.5 UTVÄRDERING AV MODELLERNA.....	46
5.5.1 SYVAB-modellen	46

5.5.2 Brommamodellen	47
5.5.3 Henriksdal södra	47
5.5.4 Henriksdal norra	48
5.6 SLUTET OCH ÖPPET BYGGNADSÄTT	48
5.7 FORTSATT UTVECKLING	49
6 SLUTSATSER	50
LITTERATURFÖRTECKNING	51
BILAGA 1	53

1 INLEDNING

Vid analys och uppbyggnad av avloppsledningsnät idag används ofta hydrauliska modeller gjorda med hjälp av datorbaserade modelleringsprogram. Tidigare har den övervägande delen av arbetet gjorts genom manuella beräkningar, men under den senaste tiden har de manuella beräkningarna ersatts av datorbaserade hydrauliska modeller. En av flera anledningar till övergången till datorbaserade modelleringsprogram är dagens mer komplexa och invecklade ledningsnät till följd av den ökande urbaniseringen (Hansen, 2008).

Avloppssystem byggs idag som separerade system, där dagvatten från tak och gator leds i separata dagvattenledningar medan spillvatten från hushåll och industrier leds i spillvattenledningar (Svenskt Vatten, 2004). Hur mycket vatten som tillförs avloppssystemet beror på flertalet faktorer. För spillvattennätet beror det på antalet vattenförbrukare som är kopplade till systemet och hur stor andel av nederbörden som tillrinner till spillvattennätet. För att bestämma andelen nederbörd som tillrinner till spillvattennätet används vanligen avrinningskoefficienter (ϕ). Avrinningskoefficienten är ett mått på hur mycket av avrinningsområdets totala area som bidrar till avrinningen, antar ett värde mellan 0 och 1. Avrinningskoefficienten multiplicerad med avrinningsområdets area ger en effektiv area som bidrar till avrinning. Avrinningskoefficienten antar olika värden för olika typer av ytor. För ett större inhomogent område används en sammanvägd avrinningskoefficient vilken bland annat beror på områdets lutning, exploateringsgrad, andelen hårdjord yta och regnintensitet. (Svenskt Vatten, 2004).

Avloppssystem har idag ett antal funktionskrav som måste vara uppfyllda. Funktionskraven finns upptagna i publikation P90, utgiven av Svenskt Vatten. Enligt P90 är avloppssystemets huvudsakliga uppgift att säkerställa god miljö och goda hygieniska förhållanden. Vanliga funktionskrav idag är dimensioneringsregler för rörledningar för att klara av förväntade flöden. Kraven har på senare tid även börjat innefatta dämningsskrav på befintliga ledningar. Enligt den europeiska standarden SS-EN 752 skall avloppsnätet vara konstruerat så att de mest utsatta fastigheterna inte skall utsättas för risk för översvämning från avloppsservis för flöden med en återkomsttid av 10 år (Svenskt Vatten, 2004).

För att säkerställa rådande funktionskrav uppfylls, såväl för befintligt avloppsnät som vid nybyggnation krävs det kunskap om avloppssystemets hydrauliska status. För Stockholms stad har det mellan åren 2003 och 2007 upprättats en övergripande datormodell över huvudavloppsnätet. Den övergripande modellen är indelad i fyra mindre delmodeller, Bromma, Henriksdal södra, Henriksdal norra och SYVAB. För att ha möjlighet att fatta rationella beslut vid åtgärder, såväl vid nybyggnation som vid underhåll krävs god kunskap om avloppssystemets hydrauliska status. Den upprättade modellen är ett hjälpmedel för att uppskatta hydrauliska statusen på Stockholms avloppssystem.

Ett väl fungerande avloppsnät kan också kopplas till de av riksdagen 16 uppsatta miljömålen. Exempel på miljömål som kan beröras av ett dåligt fungerade avloppsnät är, i) En giftfri miljö ii) Hav i balans samt levande kust och skärgård iii) Ingen övergödning (Naturvårdsverket, 2008). Ett av de uppsatta målen med modellerna är att beräkna mängden bräddvatten från samtliga bräddningspunkter. Vid bräddning släpps nämligen orenat avloppsvatten direkt ut i recipienten, vilket för Stockholms stad innebär att orenat avloppsvatten släpps ut i Mälaren

Då modellerna upprättades kalibrerades de mot uppmätta spillvattenflöden. Vid kalibrering visade det sig att det var en stor spridning inom modellen mellan modellerade flöden och uppmätta flöden. Flödesmätningarna som användes för kalibrering hade en noggrannhet på +/- 30 procent. Det innebär i sin tur att en godtagbar noggrannhet för modellerna är angivet till samma nivå, +/- 30 procent. En godtagbar noggrannhet för modellerna är angivet till +/- 30 procent.

Som tidigare nämnts bestäms volymen vatten i spillvattennätet av två faktorer, antalet kopplade förbrukare till spillvattennätet och arealen av de hårdgjorda ytorna. Andelen förbrukare kopplade till systemet går att bestämma med god noggrannhet, då det vanligen finns information om antalet kopplade förbrukare till ledningsnätet (Thorndahl, 2006). Storleken av de hårdgjorda ytorna och framförallt vilken volym vatten de bidrar med till spillvattennätet är svårare att bestämma med en god noggrannhet (Thorndahl, 2006). Trots de hårdgjorda ytornas betydelse i modellering av avloppssystem finns det få studier som undersöker hårdgjorda ytors fördelning och påverkan av flödet i avloppssystemet. De studier som är gjorda, bland annat av Thorndahl (2006) visar att tabulerade avrinningskoefficienterna för hårdgjorda ytor vanligen är för höga. Ett syfte med examensarbetet var att undersöka avrinningskoefficienterna för modellerna.

1.2 SYFTE OCH AVGRÄNSNINGAR

Syftet med detta examensarbete var att utifrån den ursprungliga beräkningsmodellen, uppritad i Mike Urban, undersöka hur modellens noggrannhet förändrades då ny information och nya indelningar av hårdgjorda ytor tillfördes till modellen. Med nya indelningar menas att hårdgjorda ytor delades in i klasser efter olika egenskaper.

Examensarbetet hade följande inriktningar.

- Att undersöka hur införandet av nya indelningar och ny information påverkade modellernas noggrannhet.
- Att undersöka om de avrinningskoefficienter som använts i den ursprungliga modellen för varje typ av hårdgjord yta och typområde kunde väljas annorlunda för att öka modellens noggrannhet.
- Att undersöka möjligheten att bevara modellernas noggrannhet om antalet typområden reducerades från tre typområden till två typområden.

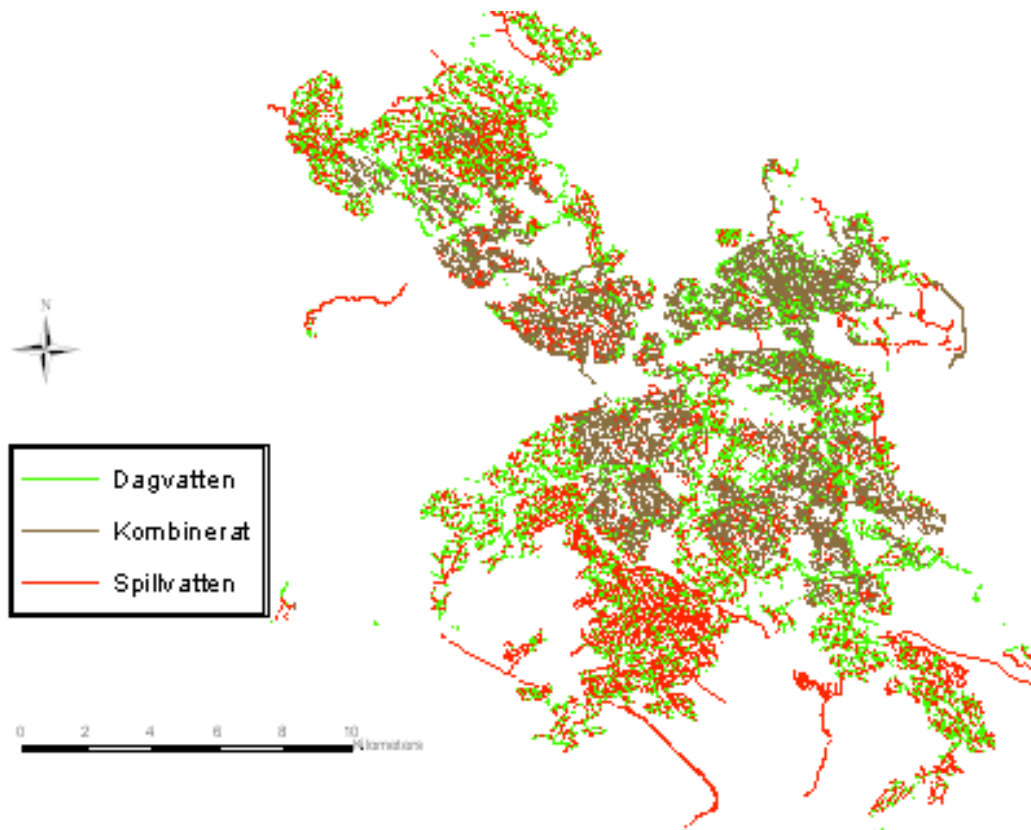
Målsättning var att ändringarna av modellen skulle kunna förklara spillvattenflödet i Stockholms huvudavloppsnät med en noggrannhet på +/- 30 procent. Examensarbetet begränsades till att undersöka betydelsen av följande indelningar och ny information, till modellen; i) reducerad dagvattentaxa, ii) ålderklassificering, iii) två typområden istället för tre, iv) slutet respektive öppet byggnadssätt, v) nya val av avrinningskoefficienter.

Eftersom det inte var möjligt att göra nya flödesmätningar, bygger examensarbetet på tidigare flödesmätningar som använts vid kalibrering av modellen. Resultatet från arbetet kunde inte valideras mot en oberoende datamängd.

1.1 BAKGRUND

Stockholms stad är en stad i ständig förändring, uppbyggd, ombyggd och tillbyggd under en lång tid. Avloppssystemet i staden började ta form på 1860-talet men det var inte förrän i början av 1900-talet som man på allvar började installera vattentoaletter vilket påskyndade utbyggnaden av avloppsnätet (Norberg, 1983). I början släpptes orenat avloppsvatten direkt ut i recipienten men på 1920-talet blev förhållandena så dåliga att man insåg att någon form av rening av vattnet var nödvändig. Det första reningsverket, Åkeshov, togs i drift 1934 (Norberg, 1983).

Avloppsnätet är uppbyggt under en lång tid. Det innebär att det ser annorlunda ut beroende på byggnadsår, eftersom byggnadsnormer har ändrats under åren. Likt många andra svenska städer domineras de äldre delarna av Stockholms stad av kombinerade system, medan nyare de nyare delarna i Stockholm har separerade system. Före år 1950 byggdes huvudsakligen kombinerade system med kombinerade ledningar för spill- och dagvatten. På 1950-talet ersattes de kombinerade systemen gradvis med duplikta system med separerade ledningar för spill- och dagvatten (Stahre, 2006). I Figur 1 syns Stockholms avloppsledningsnät.



Figur 1 Stockholms avloppsledningsnät, indelat efter kombinerade ledningar, spillvattenledningar och dagvattenledningar

Den mest påtagliga förändringen av avloppssystemen de senaste 20 åren är den ökande andelen av lokalt omhändertagande av dagvatten, LOD (Svenskt Vatten, 2004). Med lokalt omhändertagande av dagvatten menas att markägaren själv tar hand om sitt dagvatten, till exempel genom att installera utkastare på stuprören. En ökad andel LOD medför en minskad belastning på dagvattennätet i områden med separerade system och en minskad totalbelastning i avloppsnätet i områden med kombinerade system. Det är ovanligt att LOD tas med som parameter i modellering av avloppssystem. Detta trots att LOD har ökat kraftigt under de senaste decennierna.

Byggnadsnormerna har ändrats från tiden då man började bygga upp avloppsnätet fram till idag. Byggnader och fastigheter har därför olika utseende och funktion beroende på byggnadsår. I takt med att byggnadsnormer ändras, ändras även byggnadsmaterial. Olika material har olika avrinningskoefficient (Lee m.fl. 2008), vilket gör det möjligt att mängden avrunnet vatten från hårdgjorda ytor skiftar beroende på byggnadsår. Det finns mycket få, eller inga, studier gjorda som undersöker hur fastigheters byggnadsålder påverkar volymen avrunnet vatten från fastigheterna.

Flertalet studier visar att andelen hårdgjord yta kommer att öka i framtiden (Lee m.fl. 2008; Perry & Nawaz, 2007). Definitionen av en hårdgjord yta varierar från olika studier. Den vanligaste definitionen är en icke permeabel yta (icke genomsläpplig yta), vilket i urbana miljöer är bland annat är hustak, vägar, trottoarer, parkeringsplatser

(Huang m.fl. 2007). Att definitionen av hårdgjord yta skiftar innebär att arealen som bidrar till ytavrinning varierar (Thorndahl, 2006). Ytor som räknas som icke hårdgjorda ytor kan bidra till ytavrinningen, till exempel grusade ytor och berg i dagen.

1.3 DEFINITIONER

Avrinningskoefficient, andelen av den totala arean som bidrar till ytavrinning, alltid mindre än 1.

Avrinningsområde, ett område där nederbörden avrinner till samma punkt.

Dagvatten, vatten som samlas på hustak och hårdgjorda ytor och bildar ytavrinning i urbana miljöer.

Dränvatten, vatten som dräneras bort från husgrunder.

DUF, indelning av avloppsnätet i tillrinningsområden, avseende Drift, Underhåll och Förnyelse.

Effektiv area (hårdgjord yta), den delen av den totala arean som bidrar till ytavrinning. Totalt hårdgjord yta multiplicerad med avrinningskoefficient ger effektiv hårdgjord yta.

FRC, Fast Response Component, Mycket snabb flödesrespons som vanligen inte påverkas av den hydrologiska situationen.

Kategori, Olika typer av ytor och bebyggelse; Villa, Flerfamiljshus, Industri, Koloniområde, Hårdgjord yta, Grusad yta.

Lod, lokalt omhändertagande av dagvatten.

Processning, den valda modellen i Mike Urban processas om. Det ger bland annat nya värden på arean av den hårdgjorda ytan inom varje delavrinningsområde.

Reduceringsfaktor, kvoten mellan modellerade arealer på hårdgjord yta och beräknade arealer på hårdgjord yta.

Servis, ledning vilken sammanbinder avloppsledningsnätet, alternativt dagvattennätet med berörd fastighet.

Spillvatten, vatten som används i hushållen för till exempel tvätt, disk och toalett. I dagligt tal brukar spillvatten benämnas som avloppsvatten.

SRC, Slow Response Component, Trög flödesrespons som påverkas mycket av den hydrologiska situationen.

2 VETENSKAPLIG BAKGRUND

Flertalet undersökningar visar att den totala arealen av hårdgjorda ytor har ökat, framförallt under de senaste decennierna, och arealen hårdgjorda ytor kommer att öka även i framtiden (Thomas & Rizwan, 2007; Lee & French, 2008). Thomas & Rizman, (2007) har undersökt inverkan av hårdgjorda trädgårdsytor i ett villaområde i England. Från 1971 till 2004 ökade den totala hårdgjorda ytan i villaområdet med 12,6 procent, varav den hårdgjorda trädgårdsytan ökade med 136 procent. Thomas & Rizman, (2007) visar i sin studie att avrinningen ökar linjärt med ökad hårdgjord yta. Lutningen på linjen beror på typ av jordart av tidigare icke hårdgjord yta. En jordart som är mycket genomsläpplig kommer visa stor skillnad i mängd tillförd vatten till ytavrinning eftersom jordarten har möjlighet att infiltrera mycket vatten. Motsatsen till en genomsläpplig jordart är en jordart av svällande typ, till exempel lera. För en sådan jordart är skillnaden mellan hårdgjord yta och icke hårdgjord yta inte lika stor då den svällande jordarten inte infiltrerar någon större mängd vatten innan förslutning. Thomas & Rizmans (2007) studie visar att jordarten har betydelse vid bestämning av volym vatten från ytavrinning eftersom en svällande jordarten kan bidra till ytavrinning.

Forskare har under de senaste decennierna studerat den påverkan som dagens urbanisering, med areal andel hårdgjorda ytor, har på mänskligheten. Huang m.fl. (2007) lyfter fram att i takt med den ökande andelen hårdgjorda ytor kommer andelen häftiga översvänningskatastrofer öka. Xian m.fl. (2007) poängterar att ökad andel hårdgjorda ytor leder till minskad infiltration och ökande halter av föroreningar i grundvattnet. En sammanställning av Lee & French, (2008) visar att enbart i USA kommer andelen hårdgjorda ytor att öka med 45 procent mellan år 2000 och år 2030. Trots den kraftiga ökningen och troliga effekter av ökad andel hårdgjord yta finns det i dagsläget lite litteratur skrivet i ämnet (Lee & French, 2008).

2.1 VATTNETS KRETSLOPP

Allt vatten, oavsett plats eller tillstånd ingår i ett kretslopp, vilket innefattar flertalet processer. Vattnet i kretsloppet har inte någon början eller slut, utan det antar endast olika former. Vattnets kretslopp ser olika ut i urbana miljöer jämfört mer naturmark (Chow m.fl. 1988). Den stora skillnaden den stora arealen av hårdgjorda ytor i urbana miljöer. Nederbörd kan anta olika former, lagras i ytvattenmagasin, bilda ytligt grundvatten för att sedan bilda avrinning i vattendrag, avdunsta eller rinna av som ytavrinning (Grip & Rodhe, 1994). Det blir skillnad om nederbörden faller över naturmark eller urbana miljöer.

Vid naturmark kommer den del av nederbörden som inte evaporerar eller intercepteras av vegetationen, att samlas upp i mindre bäckar och vattendrag, som i sin tur leder till större vattendrag och slutligen rinner vattnet ut i havet (Chow m.fl. 1988). Delen av nederbörden som infiltrerar ner i marken kan perkolera djupare och bilda grundvatten. Den kan också bilda ytligt grundvatten som rinner till vattendrag för att så småningom rinna ut i havet (Chow m.fl. 1988).

Urbana miljöer som människan konstruerat har en stor andel icke permeabla ytor vilket förändrar vattnets kretslopp jämfört med naturmark. Vattnet har inte samma möjlighet att infiltrera och tas upp av vegetationen. Det medför att mängden vatten som bildar ytavrinning ökar. I stadsmiljöer krävs en bortledning av vattnet via ledningar, tunnlar eller öppna vattendrag. Oavsett permeabla eller icke permeabla ytor, kommer det vid regn att ske en uppfuktning av övre delen av markytan. Beroende på regnets varaktighet och intensitet kommer det efter en tid att bildas ett ytvattenmagasin på vissa platser vid markytan. Efterhand kommer ytvattenmagasinet överskrida sitt maxvärde och ytavrinning kommer att sker (Chow m.fl. 1988; Gustafsson, 1993).

2.2 INFILTRATION OCH YTAVRINNING

Vid modellering är det av stor betydelse att beräkna hur stor del av nederbörden som bildar ytavrinning. I flertalet studier definieras ytavrinning enligt Hortons definition. Hortons definition säger att om man bortser från den del av vattnet som intercepteras av växterna är ytavrinning den del av nederbörden som inte infiltrerar i marken. Marken har en infiltrationskapacitet f . Om regnintensiteten, i är mindre än f , per tidsenhet, sker ingen ytavrinning. Om i är större än f , per tidsenhet, sker ytavrinningen $(i-f)$. Hortons definition är tillämpbar i urbana miljöer med stor andel hårdgjorda ytor. Men då metoden inte tar hänsyn till interception av vatten av vegetationen, är Hortons definition inte tillämpbar på naturmark som innefattar mycket vegetation (Chow m.fl. 1988).

Vid modellering är förluster av dagvatten skillnaden mellan uppmätta regnmängder och uppmätta avrinningsmängder. Vid användning av Hortons definition är förluster det vatten som intercepteras av växterna, växternas vattenupptag samt ytvattenmagasinet (Chow m.fl. 1988). Faktorer som påverkar förluster av dagvatten på hårdgjorda ytor är bland annat evaporation, ytans textur och ytans lutning (Mansell, 2009).

Den rationella metoden är i Sverige den vanligaste metoden för att beräkna ytavrinning från urbana miljöer. (Ekvation 1) (Svenskt Vatten 2004). Den rationella metoden grundar sig på att den maximala avrinningen från ett område inträffar vid tidpunkten när hela avrinningsområdet bidrar till avrinningen. Den tidpunkten benämns t_c . Den rationella metoden bygger på följande förenklingar; i) Regnintensiteten är konstant över området ii) Regnets varaktighet är lika med t_c iii) Återkomsttiden för den maximala avrinningen från ett regn är samma som återkomsttiden för regnet (Osman Akan, 1993). Den rationella metoden säger att det maximala flödet är proportionellt mot regnintensiteten.

$$Q_p = \varphi i A \quad (1)$$

Q_p = Dimensionerade flöde [l/s]

φ = Avrinningskoefficient [dimensionslös]

A = Avrinningsområdet area [ha]

i = dimensionerad regnintensitet [l/s/ha]

För att beräkna den dimensionerade regnintensiteten används en Z-parameter. Z-parametern är en regional parameter som varierar med medelnederbördsintensiteten under sommarmånaderna (Svenskt Vatten 2004). Den kan utläsas ur Sverigekartan i publikation P90 (Svenskt Vatten 2004). Tabulerade avrinningskoefficienter för olika typer av hårdgjorda ytor finns i Tabell 1.

2.3 HÅRDGJORDA YTOR

Viktiga begrepp inom modellering av avloppssystem är, *FRC-Fast Response Component* och *SRC-Slow Response Component*. FRC beskriver den del av avrinningen som huvudsakligen orsakas av hårdgjorda ytor. FRC karakteriseras av snabb flödesrespons och påverkas inte av den hydrologiska situationen. I motsats till FRC tar SRC hänsyn grundvattenströmningarna i marken. SRC tar även hänsyn till det hydrologiska minnet (Gustafsson, 1993). Vid upprättande av avloppsmodeller, tas vanligen endast FRC med i beräkningarna. Det medför att det är viktigt att bestämma storleken på de hårdgjorda ytorna. Viktigt att skilja är totala ytan av den hårdgjorda ytan och den delen av ytan som bidrar till ytavrinning.

Det finns olika metoder för att kartlägga och bestämma andelen hårdgjorda ytor inom ett avrinningsområde. I ett historiskt perspektiv har två metoder använts för bestämning av de hårdgjorda ytornas storlek, manuell kartering utifrån satellit eller flygfoto alternativt avrinningskoefficienter efter landtyp.

Vid avrinningskoefficient efter landtyp delas avrinningsområdena in efter förutbestämda kriterier, exempelvis byggnadstyp, marklutning och jordmån. Varje landtyp är tilldelad en specifik avrinningskoefficient som vanligen är bestämd utifrån empiriska studier. Avrinningskoefficienten anger den procentuella andelen hårdgjord yta utifrån den totala ytan av avrinningsområdet. Avrinningskoefficienten multiplicerad med den totala arean ger den effektiva hårdgjorda ytan som bidrar till ytavrinningen.

Utöver de två ovan nämnda metoderna finns det andra metoder som bland annat använder sig av samband mellan andelen hårdgjorda ytor och andra parametrar. Andra parametrar kan exempelvis vara marktemperatur. Yuan & Bauer (2007) har påvisat ett linjärt samband mellan andelen hårdgjord yta och marktemperatur. Marktemperaturen kan mätas med IR-kamera via flygfoto. Yuan & Baur (2007) menar också att Normalised Difference of Vegetation Index (NDVI) är ett enkelt sätt att skilja hårdgjorda ytor från icke hårdgjorda ytor. Ett positivt NDVI indikerar ett område med mycket vegetation och ett lågt värde ett område med lite vegetation. Ett högt NDVI värde i urbana miljöer visar att mätcellen har hög andel vegetation och lite hårdgjord yta (Yuan & Baur, 2007).

2.3.1 Manuell kartering av hårdgjorda ytor

Den mest tidskrävande och kostsamma metoden är att utifrån flygfoto eller satellitbilder manuellt rita ut de hårdgjorda ytorna (Mahesh Kumar Jat, m.fl. 2007; Perry & Nawaz, 2008). Metoden används vanligen vid mindre områden, där manuell kartering är

tillräckligt kostnadseffektiv. Manuell kartering ger hög noggrannhet och möjlighet att inom samma avrinningsområde klassificera olika typer av hårdgjord yta. Den sammanlagda avrinningskoefficienten för ett område med flera typer av ytor och bebyggelse beräknas enligt ekvation 2.

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

φ_n = avrinningskoefficient för yta n

A_n = Area för yta n

Till skillnad mot bestämning av hårdgjorda ytor efter landområdestyp behövs inte den totala arean av avrinningsområdet vid manuell kartering. Istället är det nödvändigt att bestämma arean av varje enskild hårdgjord yta som bidrar till ytavrinningen. Den enskilda hårdgjorda ytan multiplicerad med avrinningskoefficienten för motsvarande yta ger den effektiva hårdgjorda ytan. Den totala effektiva ytan inom avrinningsområdet som bidrar till ytavrinningen ges av summan av alla effektiva hårdgjorda ytor.

Modeller upprättade i Sverige använder vanligen avrinningskoefficienter tabulerade i P90 (Tabell 1). Avrinningskoefficienterna är en sammanvägning av olika typer av ytor. I takytor är alla typer av takytor inräknade, exempelvis, tegeltak, plåttak och halmtak. Avrinningskoefficienterna är angivna för dimensionerande intensiteter i områden med måttliga lutningar.

Tabell 1 Avrinningskoefficienter för olika typer av ytor.

Typ av yta	Avrinningskoefficient
Tak	0,9
Betong- och asfaltyta, 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 alltför 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

Källa: Svenskt Vatten (2004).

Avgörande för värdet på den sammanlagda avrinningskoefficienten är vad som anges som hårdgjord yta. Thorndahl m.fl. (2006) undersökte hur den sammanlagda avrinningskoefficienten påverkades av hur stor andel av den totala arean som antogs vara hårdgjord. I studien valde Thorndahl m.fl. (2006) att ta med olika mycket hårdgjorda ytor i beräkningarna. Resultaten visade att en minskning av de hårdgjorda ytorna med 50 procent krävde en ökning av den sammanlagda avrinningskoefficienten med 40 procent för att ge samma mängd avrunnen dagvattenvolym.

Resultaten från Thorndahl m.fl. (2006) visade att värden på tabulerade avrinningskoefficienter är för höga. Studien gjordes vid fyra villaområden med huvudsakligen friliggande hus. Områdena innefattade samma typ av bebyggelse, men

olika typer av avloppssystem, kombinerade och separerade avloppssystem. Resultatet från studien visade att avrinningskoefficienterna för områdena låg inom intervallet 0,42-0,60. Det kan jämföras med rekommenderade värden i Danmark som ligger mellan 0,7-0,9 (Thorndahl m.fl. 2006). Danska tabulerade avrinningskoefficienter finns endast för generella områden, inte för villaområden som studien var inriktad på. Thorndahl m.fl. (2006) slutsats var likafullt att antingen var värdena på de beräknade avrinningskoefficienterna från studien för höga eller också bidrog inte lika stor andel hårdgjord yta till avrinningen som förväntat.

2.2.2 Avrinningskoefficienter efter landområdestyper

Vid större områden har historiskt sett en annan metod än manuell kartering använts, metoden bygger på empiriska beräknade avrinningskoefficienter för specifika landområdestyper. Utifrån till exempel andelen och typ av bebyggelse och marklutning klassificeras områden olika och får olika avrinningskoefficienter. Områdets avrinningskoefficient multiplicerad med den totala arean av området ger den effektiva hårdgjorda ytan som bidrar till ytavrinningen. I P90 finns tabulerade värden för olika landområdestyper (Tabell 2).

Tabell 2 Sammanvägda avrinningskoefficienter för olika typer av bebyggelse.

Bebyggelsetyp	Avrinningskoefficient	
	<i>Flackt</i>	<i>Kuperat</i>
Slutet byggnadssätt, ingen vegetation	0,70	0,90
Slutet byggnadssätt med planteringar	0,50	0,70
Öppet byggnadssätt (flerfamiljshus)	0,40	0,60
Radhus, kedjehus	0,40	0,60
Villor, tomter < 1 000m ²	0,25	0,35
Villor, tomter > 1 000m ²	0,15	0,25

Källa: Svenskt Vatten (2004).

Avrinningskoefficienterna för olika landområdestyper bestäms genom empiriska studier av mindre delområden utifrån givna indelningar. Exempel på indelningar är byggnadstyper och marklutning (Lee & French, 2008). Att bestämma den effektiva hårdgjorda ytan utifrån landområdesspecifika avrinningskoefficienter ger vanligen en större osäkerhet jämfört med manuell kartering, förutsatt att bakgrundsunderlaget är av god kvalitet. Landområdesspecifika koefficienter kan däremot vara en kostnadseffektiv uppskattning av mängden hårdgjorda ytor (Lee & French, 2008).

2.3 HYDRAULISKA MODELLER

I vetenskaplig bemärkelse används ordet modell vid representation av ett fenomen (Nationalencyklopedin, 2009). Men ordet modell används i flertalet sammanhang och i samband med hydrauliska modeller avses en avbild av verkligheten (Granlund &

Nilsson, 2000). Anledningen till att upprätta en modell varierar. En anledning kan till exempel vara att avloppssystemet är för komplext för att manuella beräkningar skall vara tillämpbara. En modell kan då vara behjälplig samtidigt som den är kostnadseffektiv. Ofta nämns två olika grunder för uppbyggnad av modeller (Ljung & Glad, 2004), nämligen fysikaliskt modellbygge och identifiering.

2.3.1 Fysikaliskt modellbygge

Med fysikaliskt modellbygge är avsikten att modellen ska avspegla uppträdanden som är kända. Olika uppföranden kan till exempel vara naturlagar eller vedertagna samband. Man vill förklara verkligheten med saker som anses vara "sanna". Vid konstruktion av en avloppsmo­dell kan fysikaliska parametrar vara avloppsnätets struktur, vilket avser ledningsdimension, typ av ledningar, höjd av brunnar eller pumpstationers kapacitet (Granlund & Nilsson, 2000; Dongquan m.fl. 2009). Fysikalisk modell benämns ofta med det mer välkända begreppet *white-box*, som betyder att alla processer är upplysta och går att studera. *White-box* modeller är ofta mycket tidskrävande genom att de kräver mycket indata (Gustafsson, 1993).

2.3.2 Identifiering

Med identifiering menas att man utifrån observationer av systemet försöker anpassa modellen efter systemets egenskaper. Det vill säga att man försöker anpassa modellparametrar efter uppmätta data (Granlund & Nilsson, 2000). Identifiering används vanligen som ett komplement till fysikaliskt modellbygge (Ljung & Glad, 2004). I likhet med att fysikaliska modeller benämns med *white-box*, benämns identifieringsmodeller som *black-box* modeller. Vad som händer i själva boxen är svart, det vet man inte. *Black-box* är en strikt matematisk modell där ett matematiskt samband mellan indata och utdata skapas.

Flertalet modeller är en blandning mellan *white-box* och *black-box*, en så kallad *grey-box*. En *grey-box* modell är en *black box* modell där man utnyttjar kända fysikaliska, som i en *white-box*. För att de modellerade värdena skall vara tillförlitliga måste en uppbyggd modell kalibreras gentemot uppmätta värden. Uppmätta värden jämförs med beräknade värden för samma tidsperiod och modellens parametrar justeras så att de modellerade värdena överstämmer med de uppmätta värdena. En kalibrerad modell behöver sedan valideras mot oberoende data. Olika mått som ofta används vid kalibrering och validering är minsta kvadratfel och bias (Ekvation 3 & 4). Då modellen uppfyller vissa förutbestämda krav, ofta i form av minsta kvadratfel och bias, kan modellen anses vara validerad för ett givet giltighetsområde. Om inte modellen uppfyller kraven behöver modellen arbetas om på nytt (Granlund & Nilsson, 2000).

Q^{sim} är det simulerade flödet, Q^{obs} är det uppmätta flödet och n är antalet observationer. Minsta kvadratfelet hör samman med antalet observationer, ett ökat antal observationer minskar minsta kvadratfelet. Bias-felet kan inte minskas genom ett ökat antal observationer utan hör samman med att modellen inte kan beskriva systemet på ett

riktigt sätt. Indata har samlats in under olika betingelser och speglar på så sätt olika delar av systemet (Ljung & Glad, 2004).

$$\text{Minsta kvadratfel} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i^{\text{sim}} - Q_i^{\text{obs}})^2} \quad (3)$$

$$\text{BIAS} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{\text{obs}} - Q_i^{\text{sim}})^2}{\sum_{i=1}^n Q_i^{\text{obs}}} \quad (4)$$

2.3.3 Ytavrinningsmodeller

I ytavrinningsmodeller bildar man ett fåtal sammanslagna parametrar av alla de parametrar som påverkar avrinningen. Vid användning av tid-area metoden, som beskrivs nedan, slås alla parametrar samman till två parametrar, initial förlust och avrinningskoefficient. Mängden vatten som evaporerar utesluts. Ytavrinningen beräknas utifrån korta intensiva regn, där evaporationen anses vara försumbar. Den initiala förlusten bestäms genom enkla empiriska ekvationer (Mansell m.fl. 2009). Värden på den initiala förlusten ligger vanligen i Mike Urban mellan 0,0003m till 0,0006m. Den initiala förlusten tar hänsyn till uppfuktningen av markytan som sker vid regn.

Ytavrinningsmodeller är lämpliga vid urbana miljöer med stor andel hårdgjord yta, där endast FRC beaktas i beräkningarna (Manual, Mike Urban Collection System, 2008). I Mike Urban finns fyra ytavrinningsmodeller att välja bland, tid-areametoden, kinematisk våg, linjär reservoar och enhetshydrograf med olika komplexitet. Nedan är endast tid-areametoden beskriven eftersom det är metoden som används i modellerna som examensarbetet bygger på.

Tid-Areametoden

En enkel avrinningsmodell, beskriver avrinningen som en funktion av tiden. Bygger på att man upprättar kurvor som beskriver den reducerade arean (ϕA) vid olika tidpunkter. Avrinningsområdet som skall beräknas delas in i delområden där en konstant rinntid bestäms. Hela områdets tid-area kurva är summationen av alla tid-areakurvor. I Mike Urban finns det tre stycken förutbestämda tid-areakurvor, för rektangulära, divergenta och konvergenta områden (Manual Mike Urban Collection System, 2008). Beräkningarna utförs med ekvation 5.

$$Q_t = \sum_{n=1}^t (Pn_{t+n-1} \times A_n) \quad (5)$$

Q_t = Flöde vid tid t

Pn_t = nettonederbörden mellan tidssteget, $t_i - t_{i-1}$

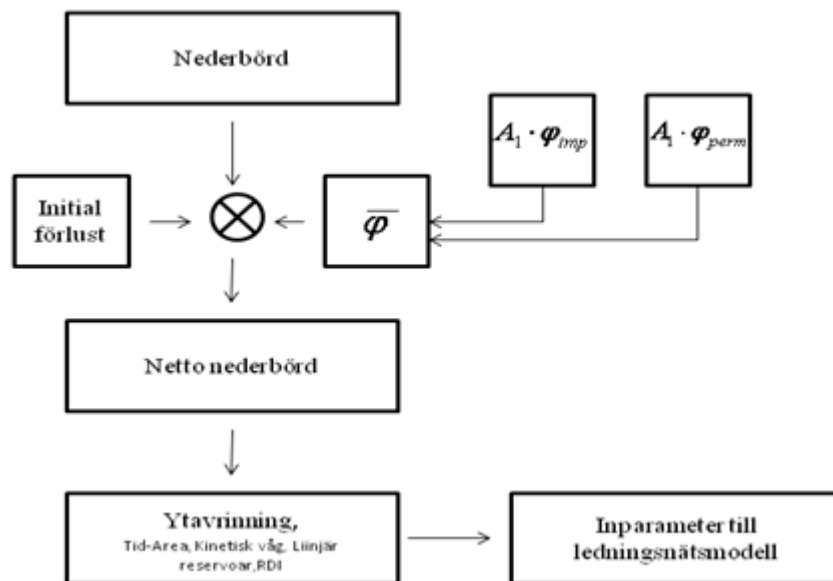
A_t = ansluten area mellan rinntidsavståndet, $t_i - t_{i-1}$

2.3.4 Kontinuerliga hydrauliska modeller

Kontinuerliga hydrauliska modeller tar hänsyn till både FRC och SRC, vilket gör att kontinuerliga modeller är mer lämpliga i områden med mycket vegetation. Detta jämfört med ytavrinningsmodeller som endast beräknar FRC. Kontinuerliga modeller är lämpliga vid långtidssimulering på grund av modellen tar hänsyn till det hydrologiska

minnet. Det hydrologiska minnet tar hänsyn till om det har regnat nyligen, det vill säga om det kommer att ske en uppfuktning av marken eller inte (Manual Mike Urban Collection System, 2008).

I Mike Urban finns två möjligheter att modellera SRC. Den enklare varianten är att SRC anges som ett konstant tilläggsflöde. Alternativet är *Rain Independent Infiltration* (RDI). RDI modulerar kontinuerligt hela markfasen i motsats till ytavrinningsmodeller där simulering sker till avrinningshydrografen anger att avrinningen är noll. I Figur 2 ges en översiktlig uppbyggnadsskiss av Mike Urban modeller. Den initiala förlusten tar hänsyn till uppfuktningen av marken vid regn, volymen av ytvattenmagasinet innan ytavrinning sker. Summan blir en nettonederbörd vilken används för att beräkna ytavrinningen med vald metod. Ytavrinningen är inparameter till ledningsnätsmodellen. Ledningsnätsmodellen beräknar tryck och flöde i brunnar, ledningsnät och pumpstationer genom att lösa St. Venants ekvationer. Ekvationerna löses implicit med finita differensmetoden med variabel steglängd (Manual, Mike Urban Collection System, 2008). St. Venants ekvationer kan göras med tre olika typers komplexitet, kinematisk våg, diffus våg och den mest komplexa, dynamisk våg (Manual, Mike Urban Collection System, 2008).



Figur 2 Flödesschema över arbetsgången för en ytavrinningsmodell upprättad i Mike Urban. A_1 är arean av hårdgjord yta 1 och φ_{imp} är motsvarande avrinningskoefficient för yta A_1 . φ_{perm} är då motsvarande avrinningskoefficient för icke hårdgjord yta och $\bar{\varphi}$ är den sammanlagda hårdgjorda ytan för hela avrinningsområdet

3 MATERIAL OCH METODER

3.1 MATERIAL

Detta examensarbete har sin grund i beräkningsmodeller för Stockholms huvudavloppsnät. Nedan följer en beskrivning över beräkningsmodellerna. Beskrivningen är hämtad från *Beräkningsmodeller för huvudavloppsnätet, Dokumentation av modellerna samt använd metodik, 2008-06-02*, (Stockholm Vatten, 2008). Arbetet som utfördes inom ramen för examensarbetet är beskrivet i avsnitt 3.3.

Den övergripande modellen är indelade i fyra delmodeller, Bromma, Henriksdal norra, Henriksdal södra och SYVAB. Delmodellerna i sin tur är uppbyggda av ett antal mindre modeller som är upprättade under åren 2003-2007. Den geografiska utsträckningen för modellerna är Stockholm stad med tillhörande förorter. Modellerna är upprättade i Mike Urban som är ett datorprogram för modellering av VA-system utvecklat av Dansk hydrauliskt institut (DHI). Programmet är ett av flera modelleringsprogram tillgängliga på marknaden (Frimodt, 2008). Mike Urban innehåller möjligheten att både modellera avloppssystem med Mike Urban Collection Systems (CS) och vattenledningsberäkningar med Mike Urban Water Distribution (WD) Mike Urban använder sig av diskretiserade avrinningsområden. Varje delavrinningsområde är kopplat till en knutpunkt, som i sin tur är kopplat till ledningsnätet. Indelningen av delavrinningsområden är upp till personen som konstruerar modellen, men väljs vanligen efter förutbestämda kriterier (Svenskt Vatten, 2004). Beroende på modelleringshorisont och typ avrinningsområde används antingen ytavrinningsmodeller eller kontinuerliga modeller. Den övergripande modellen tar endast hänsyn till ytavrinningen och använder sig av tid-areametoden.

Den övergripande modellens syfte är bland annat att ge en övergripande funktionskontroll av det befintliga ledningsnätet, beräkna den hydrauliska funktionen av huvudavloppsnätet och utvärdera effekten av planerade åtgärder. Underlaget till modellerna kommer från kartor och ritningar som beskriver hårdgjorda ytor, ledningsnät, brunnar, pumpstationer, bräddavlopp. Underlaget för de hårdgjorda ytorna består huvudsakligen av GIS-data i form av vektorfiler innehållande olika fastighetstyper, hårdgjorda ytor, grusade ytor och vägar. Vektorfilerna är skapade utifrån flygfoton, satellitbilder och gamla kartor. När GIS-data varit ofullständig har hårdgjorda ytor lagts in manuellt utifrån flygfoton och kartor. För ledningsnätet finns information om ledningar, tunnlar, brunnar, pumpstationer, bräddavlopp, nödutlopp, serviser och utjämningsmagasin. Avloppsledningar är indelade i kombinerade ledningar, dagvattenledningar och spillvattenledningar.

3.1.1 Avrinningsområden

Avrinningsområdena i modellen är indelade efter förekomst av dagvattenledningar samt saker som reglerar nedströms flöde, såsom mätpunkt, magasin, pumpstation,

bräddavlopp samt övrig anordning som bestämmer nedströms flöde. I modellen finns det tre olika avrinningsområdestyper.

Combined – Varken dagvattenledning eller dagvattenservis finns utbyggt i området.

Wastewater – Dagvattenledningar finns utbyggda i området men inte dagvattenserviser

Stormwater - Både dagvattenledningar och dagvattenservis finns utbyggda i området

Avrinningsområdenas utgångspunkt har varit DUF-områden (Drift, Underhåll och Förnyelse). DUF-områden är en indelning av tillrinningsområden till avlopps nätet. Då DUF-områden vanligen är stora områden har dessa delats in enligt ovanstående beskrivning för att få en högre noggrannhet. Modellerna innefattar endast spillvattennätet och därför är avrinningsområden endast framtagna för spillvattennätet. Då dagvattenledningar är kopplade till spillvattenledning eller på annat sätt påverkat spillvattennätet är tillhörande avrinningsområde för dagvattenledningen inlagt.

3.1.2 Avrinningskoefficienter

För beräkning av arealen hårdgjorda ytor, såsom hustak, gatuytor och parkeringsplatser har underlag i form av GIS-data använts. Hårdgjorda ytor är enligt modellen indelade i sju olika kategorier, i) Koloniområde, ii) Villa och fritidshus, iii) Flerfamiljshus, iv) Industri och övrigt, v) Hårdgjord yta, vi) Grusad yta, vii) Gatuyta.

De hårdgjorda ytorna har olika avrinningskoefficienter beroende på områdestyp. Avrinningskoefficienter är angivna efter publikation P90, med hänsyn till andelen kopplad hårdgjord yta. Till exempel i *combined*- och *wastewater*-områden antas endast hälften av takytorna på villa vara anslutna till avloppsledningsnätet (Tabell 3). Tabell med avrinningskoefficienter enligt P90 finns redovisad i Tabell 1.

Tabell 3 Avrinningskoefficienter för olika typområden anslutna till spillvattennätet

<i>Kategori</i>	<i>Typområde</i>		
	<i>Combined</i>	<i>Wastewater</i>	<i>Stormwater</i>
Koloniområde	0	0	0
Villa och fritidshus	0,45	0,45	0,09
Flerfamiljshus	0,90	0,90	0,18
Industri	0,90	0,90	0,18
Hårdgjord yta	0,80	0,40	0
Grusad yta	0,20	0,10	0
Gatuyta	0,80	0	0

3.1.3 Kalibrering av modell

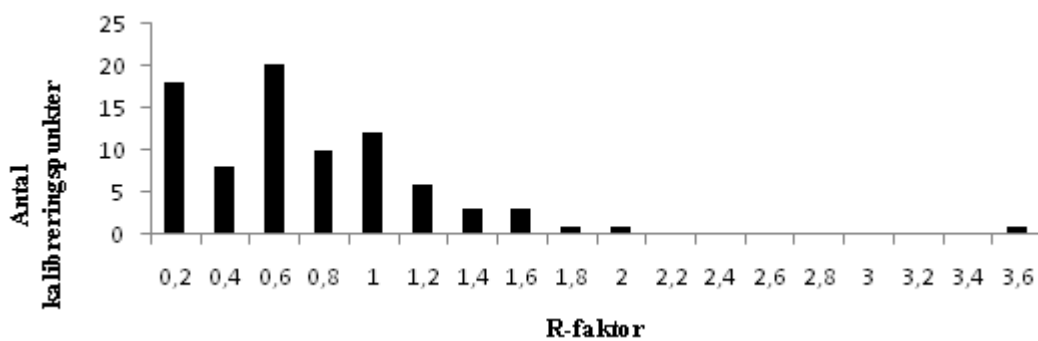
Modellen är kalibrerad gentemot flödesmätningar i avlopps nätet. Flödesmätningar sker under en längre tidsperiod, 2-6 månader. Under tidsperioden mäts flödet kontinuerlig. Flödet i mätpunkten bestäms av flödet ur ledningarna uppströms. Vissa områden har en tätare fördelning av mätpunkter jämfört med andra (Figur 4). Den ojämna fördelningen av mätpunkter gör att olika många avrinningsområden är kalibrerade mot samma mätpunkt. Med kalibrering menas att den effektiva hårdgjorda ytan justeras med en

reduktionsfaktor, R-faktor, så att modellerade och uppmätta flöden överensstämmer. R-faktorn justerar således den effektiva hårdgjorda ytan för att volymen vatten från ytavrinning skall överensstämma med flödet i avloppsledningarna. R-faktorn definieras enligt ekvation 6.

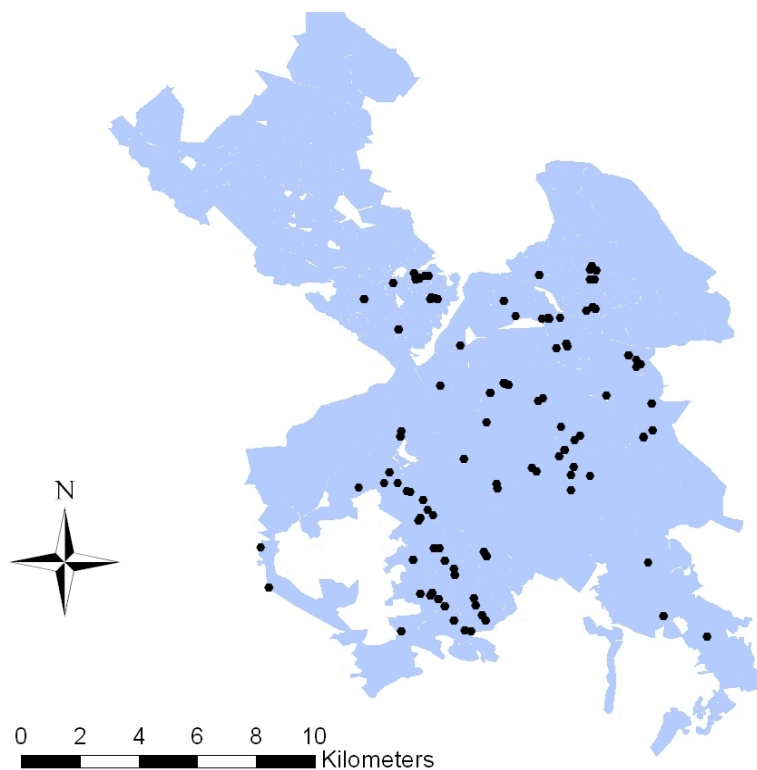
$$R - faktor = \frac{\text{modellerad effektiv hårdgjord yta}}{\text{uppmätt effektiv hårdgjord yta}} \quad (6)$$

Med uppmätt effektiv hårdgjord yta menas den effektiva hårdgjorda yta vilken motsvaras av uppmätt flöde i mätpunkten.

Den totala medelreduktionsfaktorn, över alla delavrinningsområden, för delmodellerna, är 0,65 med en spridning från 0,02 till 3,6.

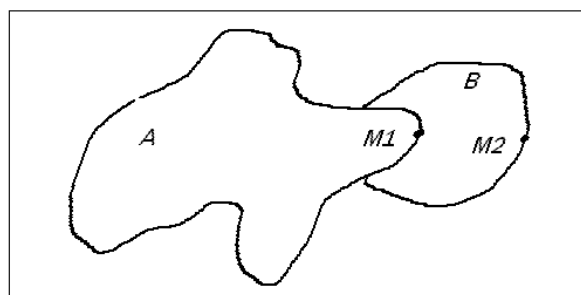


Figur 3 Fördelning av R-faktorer för modellerna Bromma, Henriksdal norra, Henriksdal södra och SYVAB. Stapel 0,2 motsvarar intervallet 0-0,2.



Figur 4 Mätpunkter, markerade som svarta prickar, vid flödesmätningar för kalibrering av beräkningsmodell för Stockholm avloppsledningsnät. Det blå området motsvarar modellens utbredningsområde.

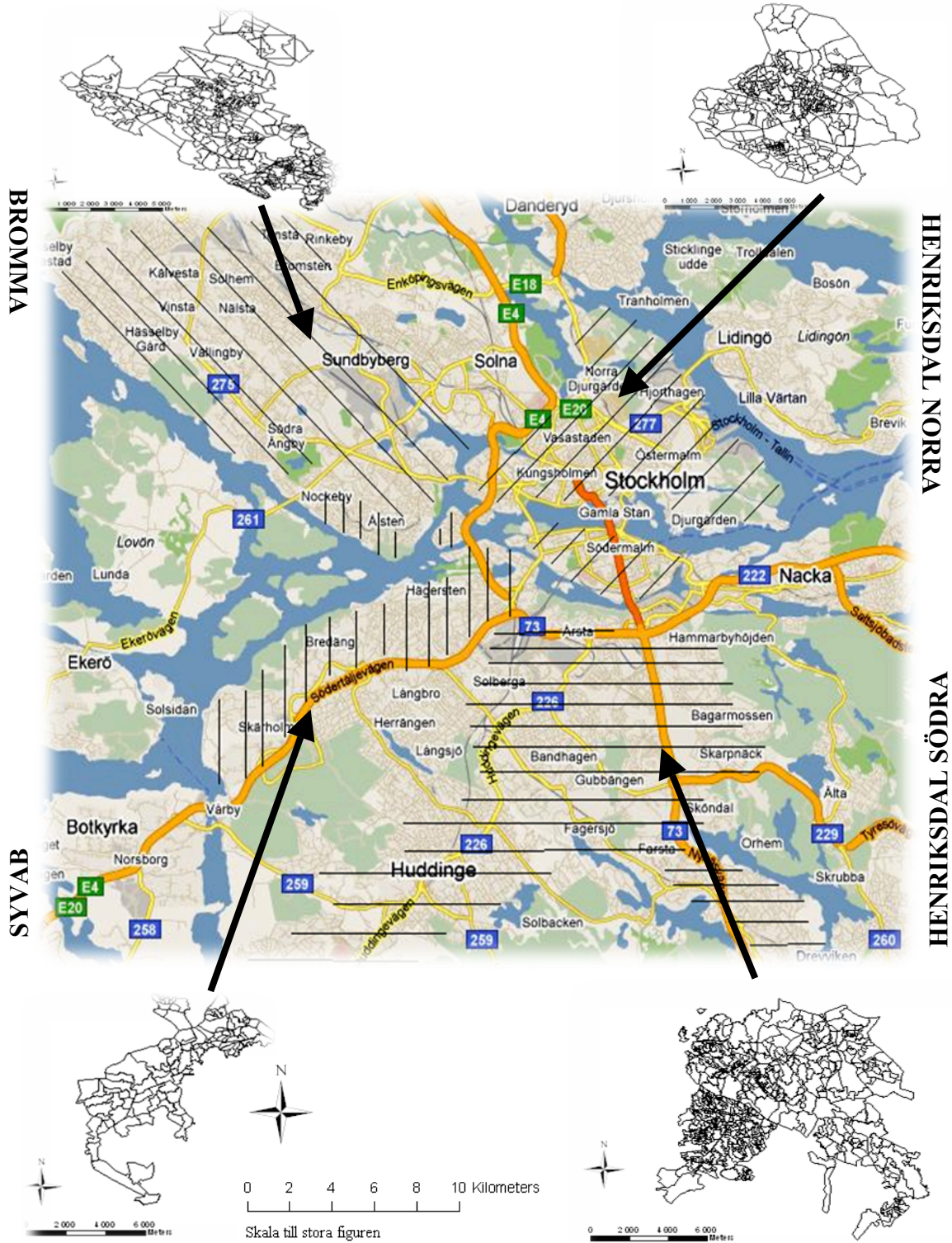
Mätpunkternas placering har betydelse vid kalibrering av modellerna. Uppströms kalibrerade flöden subtraheras bort från mätpunkter nedströms. Vid kalibrering av mätpunkt M2 (Figur 5) subtraheras värdet från M1 bort. Det orsakar en stor felkälla då avrinningsområde A är mycket större än avrinningsområde B. Den potentiella felkällan från avrinningsområde A är en betydande del för det uppmätta värdet för avrinningsområde B (Hammarlund, 2009).



Figur 5 Mätpunkterna har betydelse vid kalibrering av modellerna, M1 är mätpunkt för delavrinningsområde A. M2 är mätpunkt för delavrinningsområde B.

3.2 DELMODELLER

I Figur 6 nedan visas en översiktsbild över de 4 delmodellernas geografiska placering i Stockholms stad. De mindre figurerna representerar varje delmodell, där varje liten cell är ett delavrinningsområde.



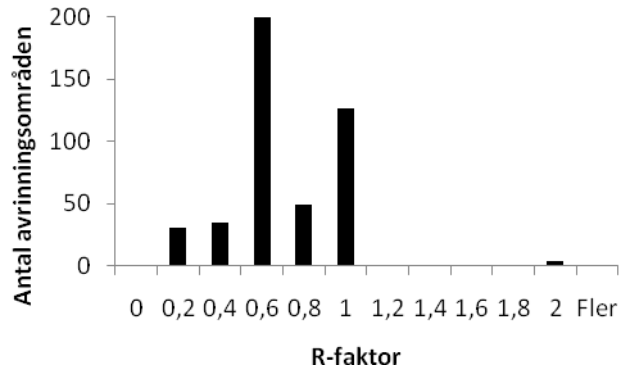
Figur 6 Geografisk placering av de fyra olika delmodellerna i Stockholm. Källa Google Maps (2009-11-11).

3.2.1 Bromma

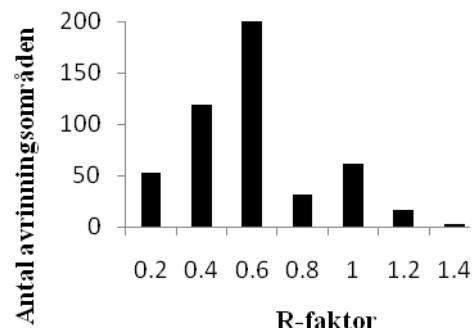
Brommamodellen innefattar den del av Stockholms ledningsnät som rinner till Bromma reningsverk. Externa spillvattenbelastningar från Sundbyberg, Järfälla och Ekerö är inlagda som punktbelastningar. Modellens geografiska utsträckning är från Tensta och Akalla i norr till norr om Kungsholmen i söder (Figur 6). I väster begränsas Brommamodellen av Mälaren och i öster sträcker modellen sig fram till Sundbyberg. Den geografiska utsträckningen för modellen är från början av 1900-talet i delar av Äppelviken, till miljonprogramsbyggen under 1960-talet i Tensta och Rinkeby.

3.2.2 Henriksdal södra

Modell Henriksdal södra berör södra Stockholms och Huddinges ledningsnät som rinner till Henriksdals reningsverk. Externa spillvattenbelastningar från Nacka, Tyresö och Haninge är inlagda som punktbelastningar. Modellområdet innefattar en majoritet av villor, då stora villaområden finns i Huddinge och Enskededalen. Områden med flerfamiljhus finns bland annat i globenområdet och området kring Årsta. Henriksdal södra sträcker sig till Södermalm i norr och längs nuvarande bebyggelsen ner till Länna i söder (Figur 6). Österut sträcker sig modellen till Skarpnäck och Bagarmossen och i väster ungefär till Herrängen innan SYVAB-modellen tar vid (Figur 6).



Figur 7 Antalet delavrinningsområden med given R-faktor för Brommamodellen. R-faktor 0,2 visar R-faktorer som ligger i intervallet 0 till 0,2.



Figur 8 Antalet delavrinningsområden med given R-faktor för Henriksdal södra. R-faktor 0,2 visar R-faktorer som ligger i intervallet 0 till 0,2.

3.2.3 Henriksdal norra

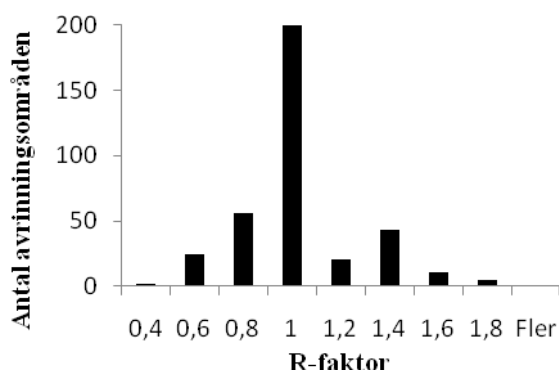
Modellen Henriksdal norra är uppdelad i fyra delmodeller.

- Henriksdal norra Kungsholmen, innefattar ledningsnätet på norra Kungsholmen som rinner till Henriksdals reningsverk via pumpstation Kungsholmen hamnplan.
- Henriksdal norra Södermalm, innefattar ledningsnätet på Södermalm som rinner till Henriksdals reningsverk.
- Henriksdal norra Innerstan, innefattar ledningsnätet i norra innerstan som rinner till Henriksdals reningsverk.
- Henriksdal norra Louden, innefattar ledningsnätet uppströms Loudens pumpstation, spillvatten från Nacka är inlagt som punktbelastning.

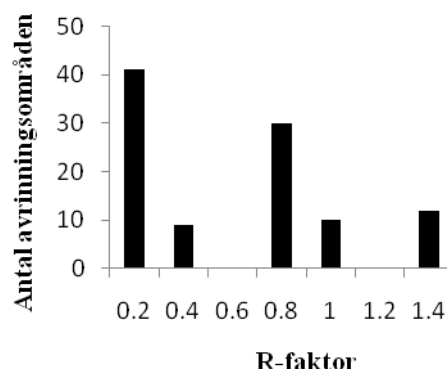
Jämfört med de övriga modellerna, innefattar Henriksdal Norra till största del tätbebyggt område med stor andel hårdgjord yta. Modellen har en geografisk utbredning som innefattar Södermalm, Gamla stan, norra Innerstan och Kungsholmen (Figur 6). Dessa områden innehåller till största delen flerfamiljshus med stora ytor hårdgjorda ytor i anslutning, som runt om husen. Modellen innefattar även större grönområden, exempelvis Djurgården.

3.2.4 SYVAB

Berör delar av Stockholm och Huddinges ledningsnät som rinner till SYVABs reningsverk. SYVAB-modellen innehåller flertalet fastighetstyper, eftersom den geografiska utsträckningen är från Skärholmen i söder till delar av Äppelviken och Essingeöarna i norr (Figur 6). Avloppsvattnet från Äppelviken och Essingeöarna pumpas över Mälaren söderut. Österut ansluter modellen till Henriksdal södra ungefär vid Herrängen och västerut begränsas SYVAB-modellen av Mälaren.



Figur 9 Antalet delavrinningsområden med given R-faktor för Henriksdal norra. R-faktor 0,2 visar R-faktorer som ligger i intervallet 0 till 0,2. 3 outliers med värde 3,6 är inte synliga i figuren.



Figur 10 Antalet delavrinningsområden med given R-faktor för SYVAB-modellen. R-faktor 0,2 visar R-faktorer som ligger i intervallet 0 till 0,2.

3.3 METODER

Utgångspunkten för denna studie var den ursprungliga beräkningsmodellen över Stockholms avloppsnät. Målsättningen med arbetet var att justera parametrar och införa ny information i modellen för att ge modellen en noggrannhet på +/- 30 procent. Noggrannheten avser de hårdgjorda ytorna inom varje avrinningsområde. Den kalibrerade hårdgjorda ytan för varje avrinningsområde från den befintliga modellen har angivits som den korrekta ytan. Arbetet har endast utförts på en liten del av hela modellen. Endast de parametrarna rörande de hårdgjorda ytorna har studerats.

Vid några tillfällen har det upptäckts uppenbara fel i den befintliga modellen. De mätpunkterna som de felaktiga delavrinningsområdena var knutna till, har inte tagits med i beräkningarna. Likaså har inte de mätpunkter där det varit uppenbar risk för följdfel från uppströms kalibrerade områden tagits med i arbetet. De har antagits tillföra för stor osäkerhet till resultatet.

3.3.1 Arbetsgång

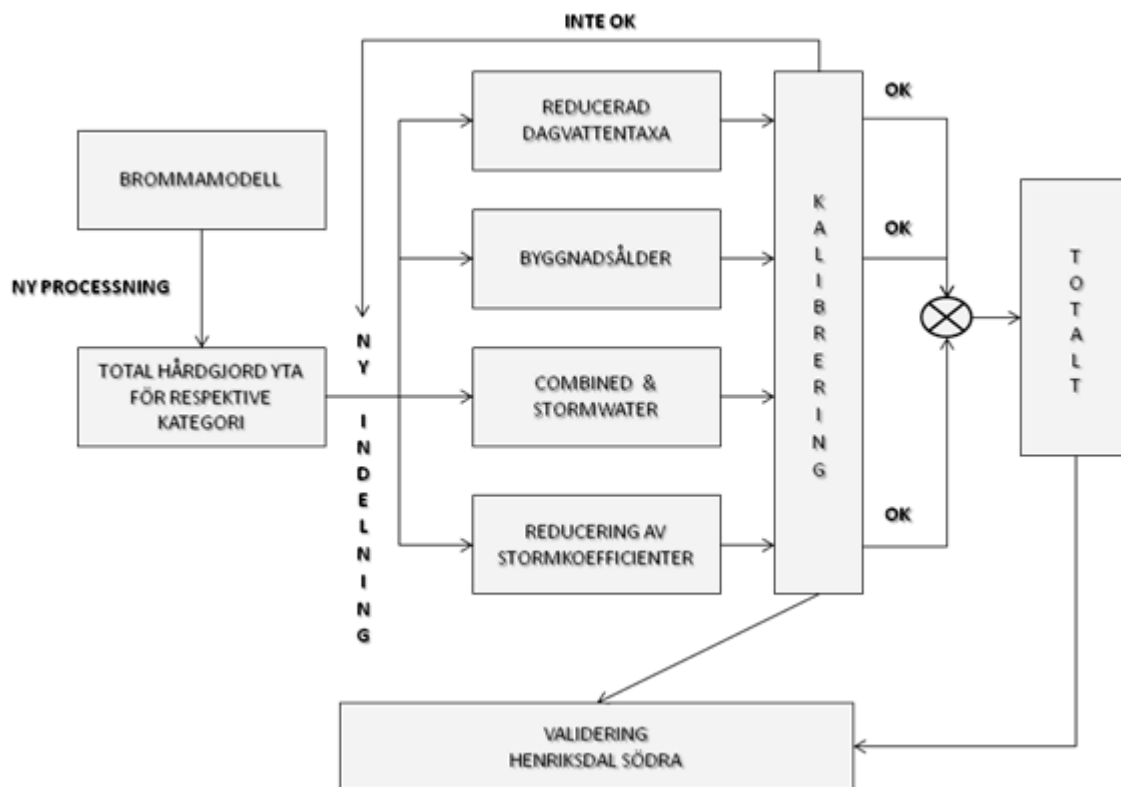
Arbetet med utvecklingen och indelningen av de hårdgjorda ytorna följde en strukturerad arbetsgång (Figur 11). Först processades varje enskild kategori av hårdgjord yta, till exempel hustak, enskilt med avrinningskoefficient 1. Avrinningskoefficient 1 innebär att 100 procent av den hårdgjorda ytan bidrar till ytavrinning. Den effektiva hårdgjorda ytan blir då lika med den totala hårdgjorda ytan. Detta gjordes för att bestämma den totala hårdgjorda ytan av varje typ av kategori inom varje avrinningsområde. Uppställningen gav möjligheten att göra en känslighetsanalys av nya avrinningskoefficienter och ny information. Uppföljning för vald metod, då varje kategori hårdgjord yta processas enskilt, måste ske eftersom GIS-underlag (vektordata) av sämre kvalitet kan innehålla vägar, hus, parkeringsplatser som överlappar varandra. När ytorna överlappar varandra, räknas ytorna flera gånger vid enskild processning av ytorna. Upprepad räkning av hårdgjorda ytor sker inte då de hårdgjorda ytorna processas samtidigt eftersom Mike Urban subtraherar bort eventuell yta som räknas flera gånger. En kontroll utfördes vid beräkningarna så att arealerna överensstämde, en acceptabel noggrannhet sattes till +/- 3 procent.

Efter att de totala hårdgjorda ytorna för varje avrinningsområde beräknats gjordes nya indelningar i modellen (Figur 11). Efter att en ny indelning i modellen gjorts processades modellen om på nytt. R-faktorerna för respektive mätpunkt studerades gentemot den befintliga modellen. Mätpunkter med avvikande R-faktor studerades genom att undersöka vilket typområde, byggnadstyp, byggnadsålder och övriga parametrar mätpunkten tillhörde. Övriga parametrar är till exempel geografisk placering, närheten till vatten och närheten till mer kuperade områden. De avvikande mätpunkternas egenskaper gav grundinformation för nya indelningar i modellen och därmed också nya värden för kategorispecifika avrinningskoefficienter.

Nästa steg i arbetet var att studera värdena på avrinningskoefficienterna för respektive kategori av hårdgjord yta. Nya värden testades tills en godtagbar noggrannhet

uppnåddes, vilket innebär att värdena som resulterade i en godtagbar noggrannhet användes vidare. (Figur 11).

Arbetet har genomförts iterativt. Nya indelningar testades utifrån tidigare kunskaper om modellen, vilka framkommit från tidigare arbete. Alla indelningar som testades togs inte med. Indelningar har lagts åt sidan då de varit för tidskrävande eller på grund av bristande informationsunderlag.



Figur 11 Översiktbild över processningen vid arbetet med nya indelningar och nya värden på avrinningskoefficienter.

För att utvärdera och validera valda indelningar har simple split metoden använts. Simple split metoden innebär att halva datamängden används till bearbetning och kalibrering och andra hälften av datamängden används till validering (Gustafsson, 1993). Modellstrukturen kan ibland anses vara omotiverad då inte all datamängd används till kalibrering, men om all datamängd skulle användas till kalibrering skulle det inte finnas någon möjlighet att validera modellen. Modellen skulle då endast vara giltig för värdena som använts för kalibrering. Brommamodellen användes som kalibreringsmodell. För validering användes modell Henriksdal södra. För modellerna Henriksdal norra och SYVAB fanns inte komplett bakgrundsunderlag. Underlaget kompletterades i den utsträckning det var genomförbart. För komplettering av underlaget användes Stockholm Vattens kartdatabas GIVAS. Kartdatabasen innehöll filer med samtliga byggnader inom Stockholm. I Arcmap gjordes en indelning av

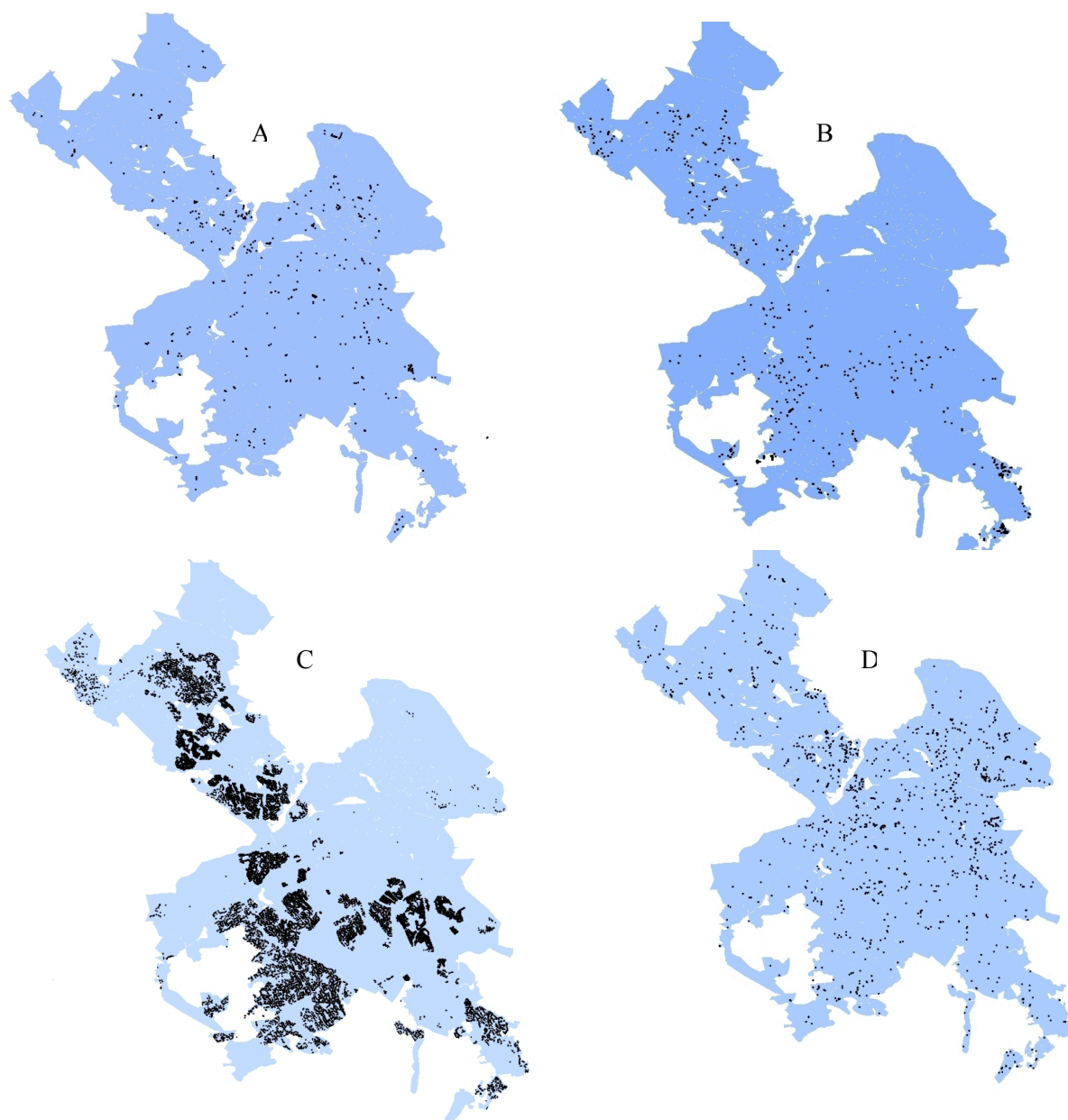
byggnaderna i två kategorier, villa och flerfamiljshus/industri. Indelningen gjordes efter arean av byggnaderna. Fastigheter med en area mellan 5-35 areaenheter fastställdes till villa, fastigheter med en area över 35 areaenheter fastställdes till flerfamiljshus. Då det saknades komplett bakgrundsunderlag för Henriksdal norra och SYVAB-modellen användes dessa inte som kalibrerings och valideringsmodeller.

Spridningsmått som har använts i arbetet är min, max, median, medel, standardavvikelse. Utgångspunkten har varit att få ett medelvärde av R-faktorerna strax under 1, samtidigt som standardavvikelsen aldrig fick överskrida det dubbla gentemot den ursprungliga modellen. Anledningen till att medelvärde skulle ligga under 1 är att det är bättre att modellen överskattar vattenflödet i spillvattennätet än underskattar vattenflödet.

3.3.2 Reducerad dagvattentaxa

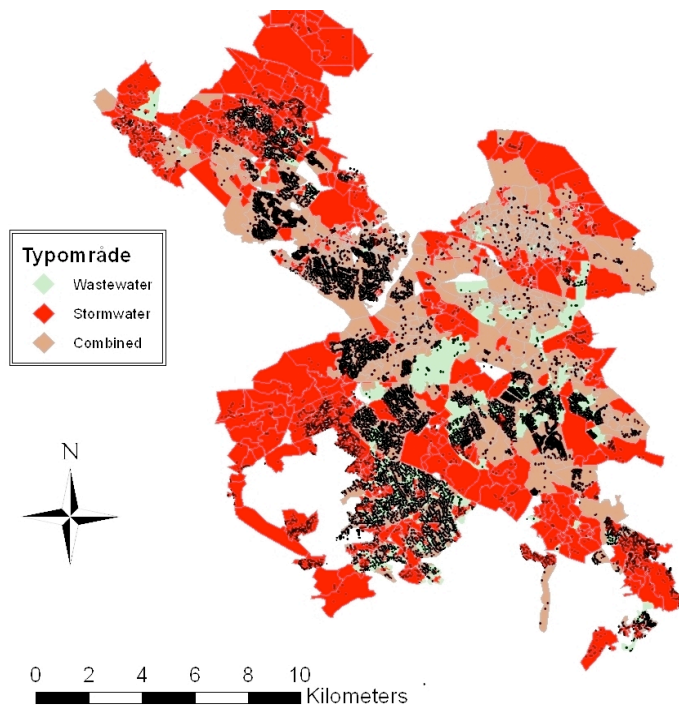
De vattenförbrukare som är kopplade till Stockholm Vattens ledningsnät betalar en avgift för dricksvatten och avloppsvatten. Vatten- och avloppsavgiften består av en fast och en rörlig del. Den fasta delen är uppdelad i grundavgift (abonnemangsavgift), nyttoavgift (drift och underhållskostnader), och en dagvattenavgift (reningskostnad för dagvatten). Vid lokalt omhändertagande av dagvattnet (LOD) är det möjligt att få reduktion av anläggningsavgiften. Om fastighetsägaren delvis gjort åtgärder för att fördröja eller reducera dagvattenflödet utgår en reduktion av halva dagvattenavgiften, benämns typ 1 (Figur 12). Om fastighetsägaren upprättat eller kopplat bort dagvattenanslutningen utgår en reduktion om hela dagvattenavgiften vilket benämns typ 2 (Figur 12) (Stockholm Vatten(b), 2008).

Stockholm Vatten har bistått med information gällande antalet förbrukare av typ 1 och 2 som är kopplade till deras ledningsnät. Förbrukare av typ 1 och 2 var också indelade i villa och flerfamilj/industri/övrigt (benämns flerfamiljshus). Utifrån indelningen i typ 1 och 2 och indelning av villa och flerfamiljshus beräknades den procentuella andelen förbrukare för respektive byggnadskategori av typ 1 och typ 2 (Figur 12). Den procentuella andelen förbrukare kopplade till samma mätpunkt beräknades genom att antalet reducerade förbrukare samt det totala antalet förbrukare räknades. Det totala antalet fastigheter beräknades utifrån samma datafiler från Stockholm Vatten där antalet förbrukare med reducerad dagvattentaxa fanns med. Då förbrukare av typ 2 är helt bortkopplade från ledningsnätet ansågs fastigheter av typ 2 inte bidra med något dagvatten till avloppsnätet. Motsvarande del hårdgjord yta subtraheras bort från den totala hårdgjorda ytan. För fastighetsägare av typ 1 subtraherades endast 90 procent av den hårdgjorda ytan bort då fastighetsägare av typ 1 fortfarande är inkopplade på nätet och kan således bidra med vatten till avloppsnätet.



Figur 12 A = Villa, typ 1. B = Flerfamilj, typ 1. C = Villa, typ 2. D = Flerfamilj, typ 2.

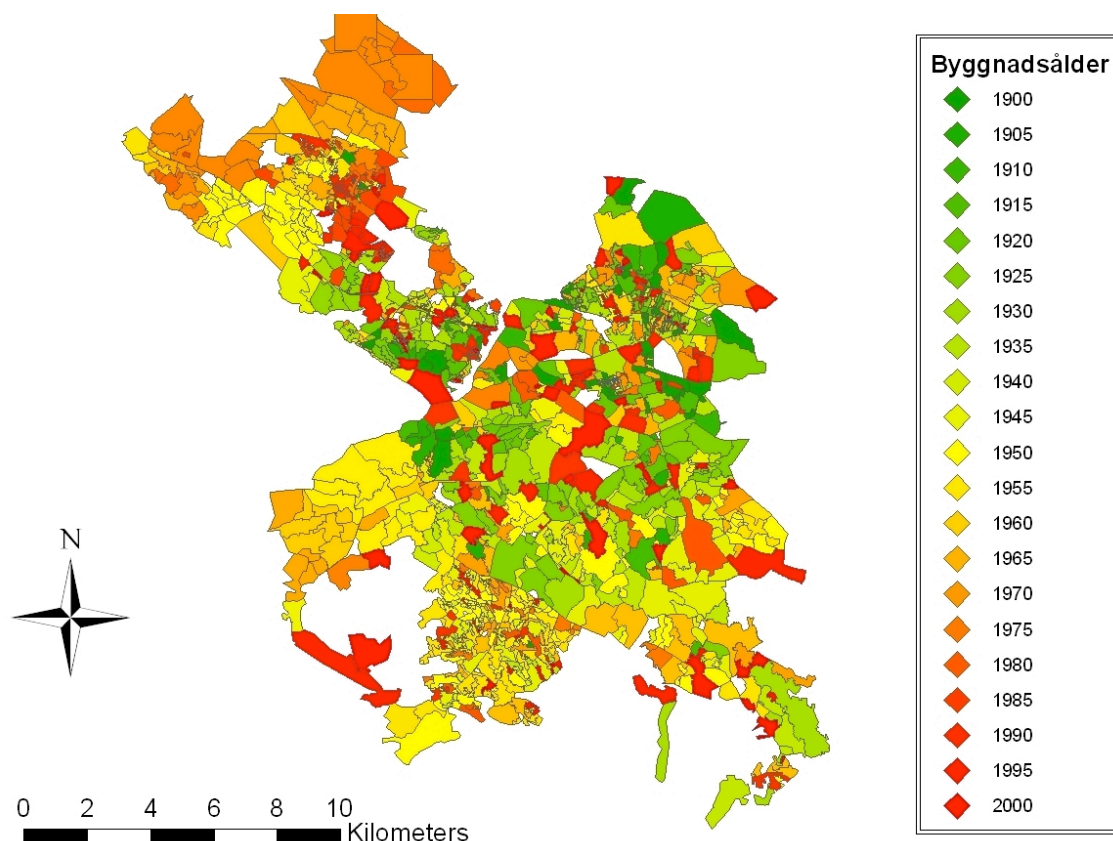
I Figur 13 är det totala antalet fastigheter med reducerad dagvattentaxa, typ 1 och 2 markerade samtidigt med de tre olika typområdena. Ur figuren syns det att majoriteten av *stormwater*-områdena inte innehåller fastigheter med reducerad dagvattentaxa. Fastigheter med reducerad dagvattentaxa är framförallt koncentrerade till *combined*-områden.



Figur 13 Totala antalet fastigheter med reducerad dagvattentaxa. Figuren inkluderar både fastigheter av typ 1 (fullständigt reducerad) och fastigheter av typ 2 (delvis reducerad). Olika typområden är angivna i figuren.

3.3.3 Byggnadsålder efter kombinerade- och spillvattenledningarnas anläggningsår

I modellen finns uppgifter om anläggningsåret för alla avloppsledningar. En metod för att dela in delavrinningsområdena efter ålder gjordes genom att använda anläggningsåldern för kombinerade ledningar och spillvattenledningar. Dagvattenledningar togs inte med i beräkningarna då dagvattenledningar och spillvattenledningar vanligen nedläggs samtidigt, vilket hade medfört att samma ledningssträcka hade räknats två gånger. Anläggningsåret delades in i femårsintervaller från år 1900 fram till idag. Varje avrinningsområde tilldelades en ålder efter de givna ålderintervallen. Urvalet gjordes genom att alla ledningar inom ett avrinningsområde räknades och den ledningsåldern med den högsta frekvensen bestämde åldern på området. Genom vald indelning fick varje område en viktad ålder efter antalet ledningar med liknande ålder. Ingen hänsyn togs till längden av avloppsledningarna.



Figur 14 Indelning av delavrinningsområdena efter anläggningsår för kombinerade- och spillvattenledningar. Byggnadsåldern är indelad i intervaller om 5 år. 1900 innebär åldersintervallet mellan 1900-1905.

3.3.4 Slutet och öppet byggnadssätt

Under tiden som arbetet har fortlöpt har vissa områden visat sig ha en liknande R-faktor. Det gäller i första hand villaområden, som i flertalet områden har haft låga reduktionsfaktorer. I P90 tabellen över sammanvägda avrinningskoefficienter för olika typer av bebyggelse (Tabell 2) är det skillnad mellan ett öppet och ett slutet byggnadssätt. Henriksdal norra är den av modellerna som har den största andelen tätbebyggt område och det är också den modellen som har den högst medelreduktionsfaktorn, möjligen finns det ett samband. Ravagnani & Pellegrinelli, (2008) analyserade bakgrunden till skillnaden mellan slutet och öppet byggnadssätt genom att studera hur likvärdiga områden kan bidra till vattenflödet i avloppsnätet olika mycket beroende på geografisk placering. Ravagnani & Pellegrinelli, (2008) tar även hänsyn till icke hårdgjorda ytor och delar in de icke hårdgjorda ytorna i, direktanslutna och icke direktanslutna. Med direktanslutna icke hårdgjorda ytor menas ytor som ligger i direkt anslutning till hårdgjorda ytor, till exempel grönyta i en rondell som omsluts av vägar. Ytavrinning från grönytan kommer flöda ut på vägen och på det viset bidra till det totala flödet. Skillnaden i R-faktor mellan slutet och öppet byggnadssätt har framkommit under arbetets gång, där framförallt villaområden med ett öppet byggnadssätt haft låga R-faktorer. För att studera gjordes i efterhand en indelning av

delavrinningsområdena i villaområden och övrigt. Villaområdena processades med reducerade avrinningskoefficienter (Tabell 4). Koefficienterna kalibrerades först på Brommamodellen för att senare valideras på modell Henriksdal södra. Valet av avrinningskoefficienterna testades också på ett separat villaområde i Köping.

Tabell 4 Avrinningskoefficienter som valdes för villaområden vid indelning i två typområden istället för tre typområden.

	<i>Combined</i>	<i>Wastewater</i>	<i>Stormwater</i>
Koloniområde	0	0	0
Villa	0,36	0,36	0,05
Flerfamiljshus	0,72	0,72	0,10
Industri(övrigt)	0,72	0,72	0,10
Hårdgjord yta	0,64	0,64	0
Grusad yta	0,16	0,16	0
Gatuyta	0,32	0,32	0

I Tabell 5 visas en sammanställning över delmodellernas spridningsmått innan nya indelningar och ny information tillfördes modellerna. Ur tabellen syns det att medel R-faktorn för alla modellerna, bortsett Henriksdal norra, ligger kring 0,5. Medianvärdena skiljer sig åt för respektive modell.

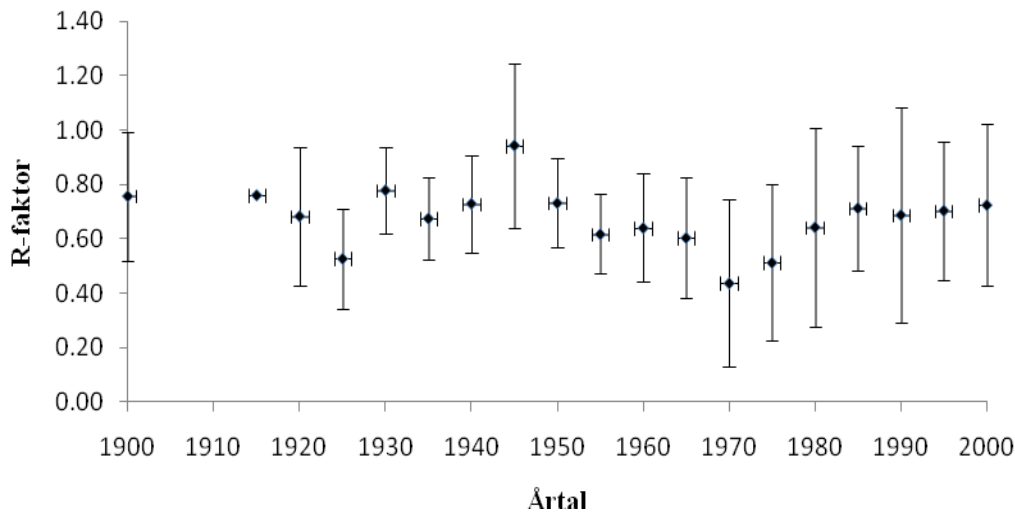
Tabell 5 Spridningsmått för modellernas reduktionsfaktorer, innan nya indelningar och ny information är införd i modellerna.

	<i>Bromma</i>	<i>Henriksdal norra</i>	<i>Henriksdal södra</i>	<i>SYVAB</i>
Medel	0,50	1,02	0,58	0,52
Median	0,45	0,90	0,51	0,25
Max	2,00	3,60	1,27	1,23
Min	0,02	0,10	0,16	0,09
Standardavvikelse	0,51	0,67	0,29	0,45

4 RESULTAT

4.1 BROMMAMODELLEN

I Figur 15 visas spridningen av reduktionsfaktorerna för respektive åldersindelning i Brommamodellen. Alla delavrinningsområden som blivit indelade i samma ålderskategori enligt tidigare förutbestämda kriterier är medelvärdesbildade. Felstaplarna för respektive åldersindelning anger standardavvikelsen. I figuren går det inte att utläsa antalet mätpunkter för varje åldersindelning. De åldersintervall där standardavvikelsen enligt figuren är noll är de åldersintervall som endast har en mätpunkt, standardavvikelsen är då satt till noll. Medelvärdet för R-faktorn ligger ganska konstant mellan 0,60 och 0,80 med en varierande standardavvikelse. Högst medelvärde av R-faktorn har åldersintervall 1945-1950. Mellan åren 1955-1975 ser R-faktorn ut att ligga lite lägre om man jämför med åren 1980 och fram till idag.



Figur 15 Spridningen av R-faktorer för respektive åldersintervall för modell Bromma. År 1900 betyder åldersintervall mellan 1900 och 1905. Inga delavrinningsområden var klassificerade i åldersintervallen 1905-1910 eller 1910-1915, därför finns inga värden i figuren.

I Tabell 6 visas en sammanställning av R-faktorer för varje mätpunkt i modell Bromma. Vid en jämförelse med Tabell 6 och Tabell 5 syns det att medelreduktionsfaktorn för Brommamodellen inte är lika. Förklaringen är att i Tabell 6 visar ett medelvärde av R-faktorerna för respektive mätpunkt som sedan är medelvärdesbildad över hela modellen. Tabell 5 visar ett medelvärde över alla R-faktorer i modellen. Varje mätpunkt är kalibrerad mot olika antal delavrinningsområden, vilket medför att reduktionsfaktorn för en mätpunkt med många delavrinningsområden kopplade till sig får en större viktad andel.

Ett fåtal av delavrinningsområdena i Brommamodellen har i efterhand visat sig vara *stormwater*-områden (markerade med ** i Tabell 6), medan de i den befintliga modellen varit processade som *combined*. Dessa områden har processats om på nytt i Mike Urban som *stormwater*-områden, angivet som ny indelning i Tabell 6. I Tabell 6 visas resultat efter processning med olika indelningar och ny information till Brommamodellen. Kalibrerade avrinningskoefficienter för 2 typområden redovisas i Tabell 7.

För åldersindelningen är den totala hårdgjorda ytan för delavrinningsområden i intervallet 1955-1975 reducerad med 20 procent. Vid kalibrering av *stormwater*-koefficienterna reducerades avrinningskoefficienterna för villa och flerfamiljshus/industri med 1/3 från 0,09 till 0,06 för villa och 0,18 till 0,12 för flerfamilj/industri. Sista kolumnen (Tabell 6) innefattar en sammanslagning av indelningarna för reducerad dagvattentaxa, åldersindelning och kalibrering av avrinningskoefficienter för *stormwater* är kombinerade.

I Tabell 6, utelämnat mätpunkt 1 och 7, syns det att vid införande av fastigheter med reducerad dagvattentaxa ökar medelvärdet av R-faktorn för alla mätpunkter. Standardavvikelsen ökar också från 0,32 till 0,41, vilket medför att den ligger i nivå med standardavvikelsen för indelningen i *combined* och *stormwater* med kalibrerade avrinningskoefficienter (kolumn 7) Fler mätpunkter i kolumnen överstiger den godtagbara noggrannheten på +/- 30 procent, vilket inte är önskvärt, jämfört med reducerad dagvattentaxa. Anmärkningsvärt är att R-faktorn för mätpunkterna 17, 18, 19 och 21, markerade med **, inte ändras vid någon av indelningarna utan ligger konstant på en låg nivå. Indelningen med lägst spridning av R-faktorerna är kolumn 5 med 2 typområden och bevarade avrinningskoefficienter, det är också den indelning som har det lägsta medelvärdet.

Mät punkt	Gammal R-faktor	Ny indelning	Red taxa	Ålder	Comb & Storm	Kal. Storm-koefficienter	Kal. Comb & Storm	Totalt
(1)	0,90	11,32	0,90	0,95	6,47	15,08	9,53	0,95
2	1,00	0,86	1,09	1,03	0,86	0,86	1,23	1,03
3	0,50	0,48	0,53	0,54	0,48	0,49	0,69	0,63
4	0,60	0,60	0,72	0,60	0,60	0,61	0,85	0,61
5	1,00	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99	1,41	1,00
6	0,60	0,56	0,89	0,64	0,56	0,56	0,82	0,69
7*	2,00	2,00	5,11	2,00	2,00	3,00	3,00	2,05
8	1,00	0,95	1,12	1,00	0,95	0,96	1,38	1,00
9	1,00	1,00	1,33	1,04	1,00	1,01	1,43	1,08
10	0,59	0,55	0,65	0,60	0,53	0,57	0,77	0,63
11	0,98	0,90	1,03	0,98	0,90	0,94	1,30	1,05

12	0,89	0,85	0,92	0,89	0,76	1,09	1,12	0,91
13	0,84	0,83	1,13	0,86	0,83	0,84	1,19	0,87
14	0,40	0,40	0,49	0,49	0,40	0,40	0,58	0,55
15	0,76	0,71	0,86	0,85	0,70	0,72	1,01	0,88
16	1,00	0,97	1,20	1,06	0,73	1,03	1,07	1,17
17**	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,16	0,16	0,12
18**	0,11	0,07	0,11	0,12	0,07	0,10	0,10	0,13
19**	0,08	0,25	0,09	0,10	0,25	0,37	0,37	0,10
20	0,52	0,65	0,52	0,64	0,65	0,98	0,98	0,72
21**	0,11	0,11	0,11	0,13	0,11	0,16	0,16	0,14

Med outliers

Medel	0,70	0,69	0,95	0,73	0,67	0,79	0,98	0,77
Standardavvikelse	0,45	0,44	1,06	0,45	0,43	0,61	0,64	0,46

Utan outliers (*)

Medel	0,64	0,62	0,73	0,67	0,60	0,68	0,87	0,70
Standardavvikelse	0,34	0,32	0,41	0,34	0,30	0,32	0,43	0,36

Tabell 6 Sammanställning av medelreduktionsfaktorn för respektive mätpunkt och indelning för Brommamodellen. Mätpunkt 1, angivet inom parentes, är inte medtagen i arbetet på grund av uppenbara fel i tidigare arbete. Mätpunkt 7 är angiven som en outlier (*) eftersom mätpunktens orimligt höga avrinningskoefficient. Mätpunkter markerade med (**) är korrigerade från tidigare modell.

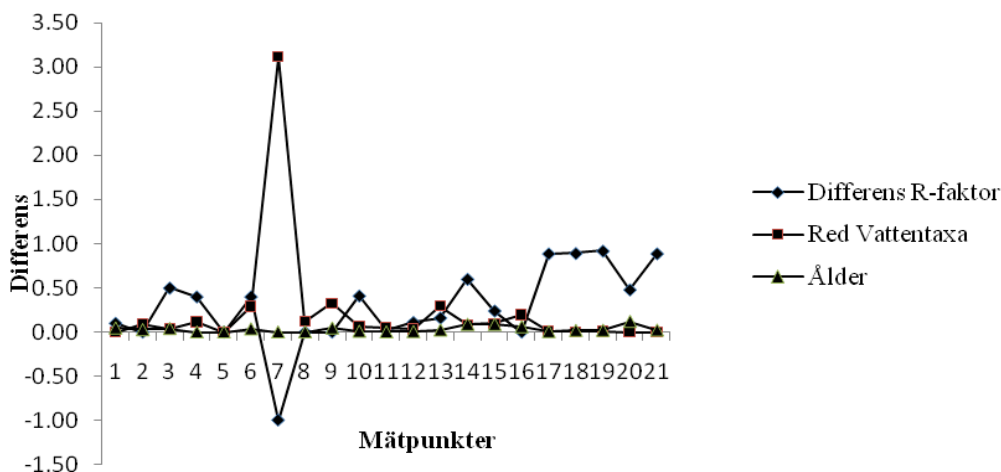
Tabell 7 skall jämföras med Tabell 4 som visar avrinningskoefficienterna för varje typ av hårdgjorda yta innan nya indelningar tillfördes modellen. Skillnad syns i att alla avrinningskoefficienter är kraftigt reducerade jämfört med tidigare uppställning samt att antalet typområden är reducerade från 3 till 2.

Tabell 7 Reducerade avrinningskoefficienter som används i indelningen ”Kal. Comb & Storm” (Tabell 6, 8, 9, 10).

<i>Kategori</i>	<i>Typområde</i>		
	<i>Combined</i>	<i>Wastewater</i>	<i>Stormwater</i>
Koloniområde	0	0	0
Villa och fritidshus	0,3	0,3	0,06
Flerfamiljshus	0,65	0,65	0,12
Industri	0,65	0,65	0,12
Hårdgjord yta	0,55	0,55	0
Grusad yta	0,1	0,1	0
Gatuyta	0,55	0,55	0

Figur 16 visar hur stor del av differensen i R-faktor från det ideala 1, utifrån grundmodellen, som förklaras av tillförandet av information av reducerad dagvattentaxa

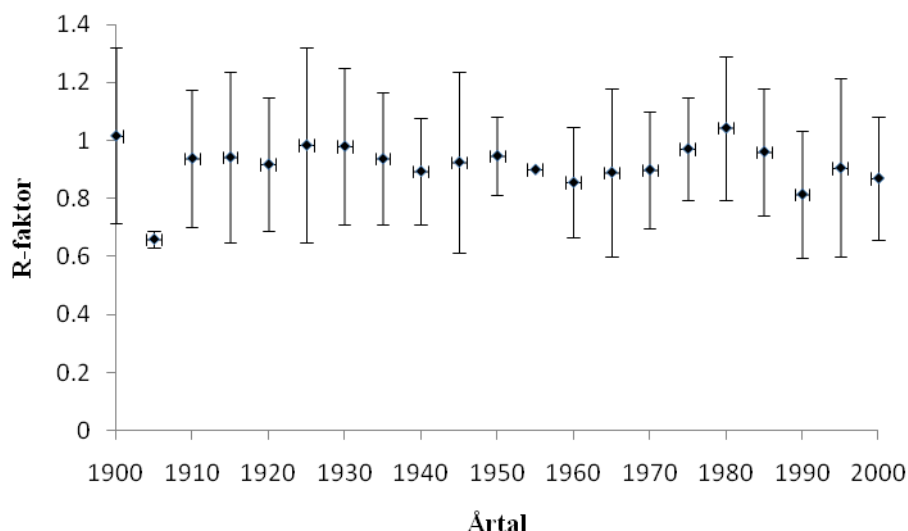
och indelning efter byggnadsålder. En negativ differens betyder att R-faktorn i grundmodellen varit större än 1. Vid en hög förklaringsgrad ska en stor differens i tidigare R-faktor åtföljas av en stor differens i R-faktor för reducerad dagvattentaxa respektive indelning efter byggnadsålder. Införandet av ny information skall förklara den skillnaden i tidigare R-faktor. Ur figuren syns det att varken införandet av fastigheter med reducerad dagvattentaxa eller åldersindelning följer differensen i R-faktor. Däremot går det att avläsa i figuren att reducerad dagvattentaxa och åldersindelning följer varandra bättre jämfört med tidigare R-faktor.



Figur 16 Förklaringsgraden av differensen i R-faktor från det idealet 1 som förklaras av indelning i reducerad dagvattentaxa och åldersindelning för modell Bromma.

4.2 HENRIKSDAL NORRA

Underlagsmaterialet för modell Henriksdal norra var inte helt komplett. Det kompletterades med GIS-data från Stockholm Vattens kartdatabas GIVAS. I Figur 17 visas spridningen av medel R-faktorn för respektive åldersindelning. Medel R-faktorerna ligger ganska väl samlade mellan 0,9 och 1 för samtliga åldersintervall. Åldersintervallet mellan 1905-1910 ligger mycket lägre än övriga värden. Intervallet inkluderar endast en mätpunkt och därför är värdets tillförlitlighet begränsad. Likt Brommamodellen (Figur 15) går det att antyda att R-faktorn mellan år 1955-1975 är i genomsnitt lägre än övriga åldersintervall, även om det relativt sätt är liten skillnad.



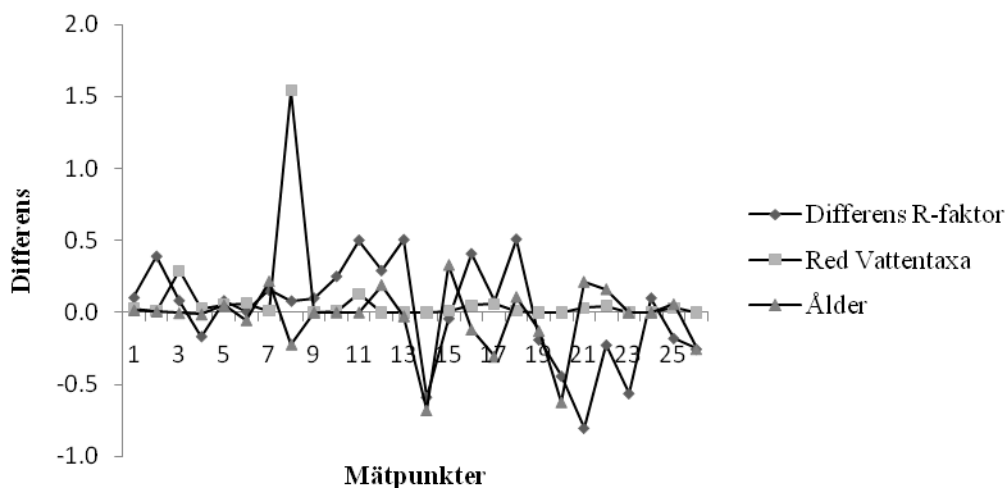
Figur 17 Spridning av R-faktorer för respektive åldersindelning för modell Henriksdal norra. År 1900 anger åldersintervall mellan 1900 och 1905.

I Tabell 8 syns, bortsett mät punkt 11, att efter införandet av fastigheter med reducerad dagvattentaxa ökar medel R-faktorn något samtidigt som standardavvikelsen ökar. Sett över alla mätpunkter ökar R-faktorn ungefär lika mycket för varje mätpunkt. Vid indelning efter byggnadsålder, bibehålls medel R-faktorn och standardavvikelsen för hela modellen. R-faktorn för varje enskild mätpunkt skiftar jämfört med den gamla R-faktorn enligt den gamla modelluppställningen (kolumn 1). Vid de övriga indelningarna med endast 2 typområden, *combined* och *stormwater* jämfört med tidigare 3 typområden blir det en stor spridning av R-faktorerna för varje mätpunkt gentemot tidigare R-faktorer. Underlagsmaterialet till modellen är som tidigare nämnt kompletterat med data från GIVAS, vilket medför att det inte fullt ut överensstämmer med den befintliga modellen som examensarbetet utgår från. Det har med största sannolikhet påverkat spridningen av R-faktorerna och resultatet i modell Henriksdal norra.

Tabell 8 Sammanställning av medelreduktionsfaktorn för respektive mätpunkt och indelning för modell Henriksdal norra. Mätpunkt 11 är angiven som outlier på grund av dess orimligt höga värden vid några indelningar.

Mätpunkt	Gammal R-faktor	Red Vattentaxa	Ålder	Comb & Storm	Kal. storm-koefficienter	Kal. Comb & Storm	Totalt
1	0,9	0,92	0,91	1,10	1,10	1,53	0,95
2	0,6	0,62	0,62	0,58	0,58	0,82	0,62
3	0,9	1,21	0,91	0,95	1,11	1,29	0,95
4	1,2	1,20	1,15	1,10	1,15	1,54	1,16
5	0,9	0,97	0,97	0,63	0,64	0,89	1,05
6	1,0	1,06	0,94	0,97	1,01	1,35	1,17
7	0,8	0,86	1,06	0,39	0,39	0,55	1,07
8	0,9	2,46	0,70	1,15	1,18	1,59	1,06
9	0,9	0,90	0,90	0,77	0,77	1,07	0,90
10	0,8	0,76	0,75	1,25	1,32	1,73	0,75
11*	0,5	0,63	0,50	9,74	9,74	9,74	0,63
12	0,7	0,71	0,90	0,12	0,12	0,17	0,90
13	0,5	0,50	0,47	0,61	0,61	0,86	0,47
14	1,6	1,59	0,91	0,98	0,98	1,39	0,91
15	1,0	1,05	1,37	0,80	0,85	1,12	1,38
16	0,6	0,64	0,47	0,52	0,52	0,74	0,92
17	0,9	0,98	0,62	0,37	0,45	0,53	0,64
18	0,5	0,50	0,60	0,26	0,26	0,37	0,62
19	1,2	1,19	1,06	1,79	1,79	2,56	1,06
20	1,4	1,44	0,82	1,35	1,35	1,90	0,82
21	1,8	1,83	2,01	1,21	1,21	1,70	2,06
22	1,2	1,27	1,39	0,98	1,06	1,38	1,52
23	1,6	1,56	1,56	1,31	1,31	1,82	1,56
24	0,9	0,90	0,90	0,03	0,03	0,04	0,90
25	1,2	1,21	1,24	2,36	2,36	2,36	1,27
26	1,3	1,25	1,00	1,77	1,77	1,98	1,00
<u>Med outliers</u>							
Medel	0,99	1,09	0,95	1,27	1,29	1,58	1,01
Stdav	0,35	0,44	0,36	1,81	1,80	1,78	0,34
<u>Utan outliers(*)</u>							
Medel	1,01	1,10	0,97	0,93	0,96	1,25	1,03
Stdav	0,34	0,44	0,35	0,55	0,55	0,65	0,34

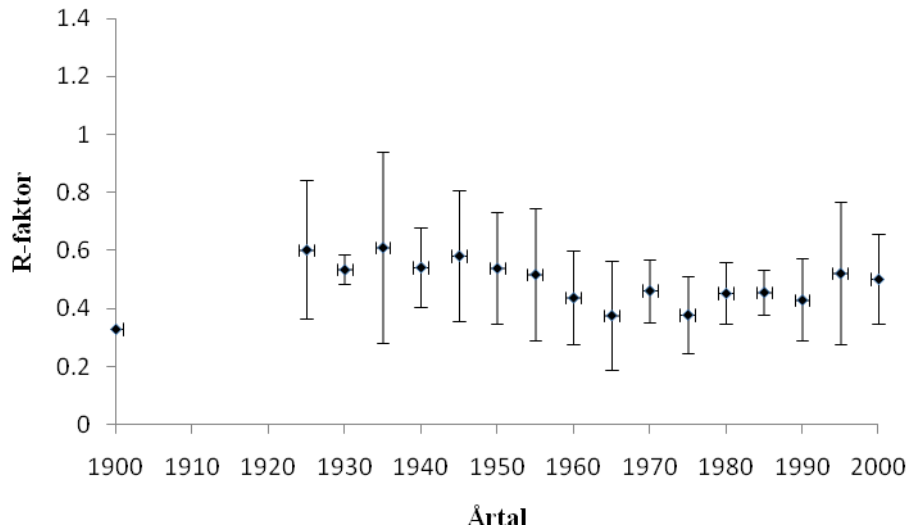
Figur 18 visar hur stor del av differensen i R-faktor från det ideala 1, utifrån grundmodellen, som förklaras av tillförandet av information av reducerad dagvattentaxa och indelning efter byggnadsålder. Ur Figur 18 syns det att varken införandet av fastigheter med reducerad dagvattentaxa eller åldersindelning följer differensen i R-faktor. Till skillnad från Brommamodellen (Figur 16) syns ingen samvariation med åldersindelning och reducerad dagvattentaxa i Figur 18.



Figur 18 Förklaringsgraden av differensen i R-faktor från 1 som förklaras av indelning i reducerad dagvattentaxa och åldersindelning för modell Henriksdal norra.

4.3 HENRIKSDAL SÖDRA

I Figur 19 visas spridningen av reduktionsfaktorerna för respektive åldersindelning för modell Henriksdal södra. Medelvärdet för R-faktorerna ligger huvudsakligen inom intervallet 0,40 till 0,60 med ett maximum kring 1940-1945. Lägst R-faktor har åldersintervallet 1900-1905 som ligger under 0,40. Det innefattar endast ett avrinningsområde vilket ger värdet en stor osäkerhet. Inga avrinningsområden blev klassificerade i åldersintervallen 1905 till 1920 och därför finns inga värden på R-faktorn i för de årtalen. Likt Brommamodellen (Figur 15) syns det att medel R-faktorn börjar sjunka efter år 1950 för att sedan öka under senare årtionden. För Figur 19 ökar R-faktorn något för åldersintervallet 1995-2000.



Figur 19 Spridning av R-faktorer för respektive åldersindelning för modell Henriksdal Södra. År 1900 betyder åldersintervall mellan 1900 och 1905. I modellen fanns det inte några avrinningsområden klassificerade i intervallet 1905-1920, därför finns det inte värden för det intervallet i figuren.

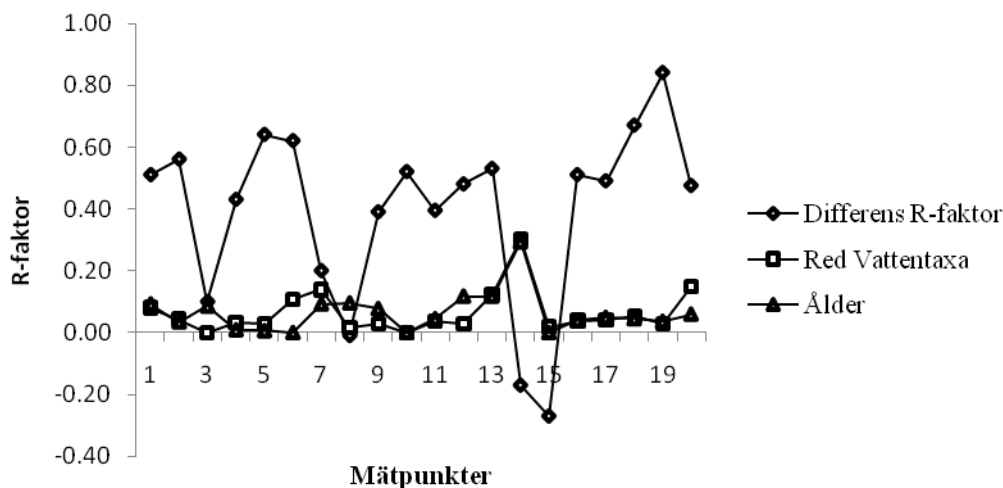
Modellen Henriksdal södra är inte uppbyggd på samma sätt som de övriga tre modellerna. De övriga tre är uppbyggda genom separata fastighetsfiler för varje byggnadstyp. För Henriksdal södra är alla filer adderade till en större fil vilken innehåller alla byggnadstyper, hårdgjord yta, grusad yta och gatuyta. I modellen för Henriksdal södra finns även bakgrundsavrinning inlagt för icke hårdgjorda ytor. En procent av de ytor som inte är hårdgjorda antas bidra till ytavrinning. I tabellen är det markerat vilka indelningar som är beräknade med bakgrundsavrinning och vilka som inte är det. Anledning till att bakgrundsavrinningen är medtagen i beräkningarna i första halvan av tabellen är för att endast studera inverkan av reducerad dagvattentaxa och åldersindelning har på det slutgiltiga resultatet.

Modell Henriksdal södra har i genomsnitt lägre medel R-faktor än de övriga tre modellerna (Tabell 5). Vid en jämförelse, bortsett mät punkt 3, av införandet av fastigheter med reducerad dagvattentaxa och åldersindelning jämfört med gammal medel R-faktor syns igen utmärkande skillnad. Både medel R-faktorn och standardavvikelsen för åldersindelning och reducerad dagvattentaxa är något högre jämfört med den gamla medel R-faktorn. I Tabell 9 syns också att vid en förenkling från 3 till 2 typområden minskar både medel R-faktorn och standardavvikelsen. Standardavvikelsen är mindre än för den gamla modelluppställningen (kolumn 1). Vid en kalibrering och reduktion av avrinningskoefficienterna ökar medel R-faktorn med lägre avrinningskoefficienter samtidigt som standardavvikelsen hålls låg. Alla mätpunkter oavsett indelning i 2 typområden ligger under den accepterade noggrannheten på +/- 30 procent. Vid jämförelse mellan kolumn 5, 6 och 7 (Tabell 8) ökar medelreduktionsfaktorn från kolumn 5 till kolumn 8. Mät punkt 19, vilken har avsevärt lägst R-faktor, ändras inte anmärkningsvärt mycket i någon av indelningarna.

Tabell 9 Sammanställning av medelreduktionsfaktorn för respektive mätpunkt och indelning för modell Henriksdal Södra. För mätpunkt 3 saknades underlagsmaterial, därför är mätpunkt 3 angiven som en outlier.

Mät punkt	Gammal R-faktor	Red vattentaxa	Ålder	Comb & Storm	Comb & Storm,	Kal. storm-koefficienter	Kal. Comb & Strom	Totalt
	----- Bakgrundsavrinning-----				-----Ej bakgrundsavrinning-----			
1	0,49	0,57	0,58	0,40	0,46	0,67	0,74	0,74
2	0,44	0,48	0,47	0,39	0,42	0,46	0,67	0,57
3*	0,90	0,90	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,57	0,60	0,58	0,35	0,36	0,53	0,57	0,63
5	0,36	0,39	0,37	0,30	0,31	0,32	0,48	0,40
6	0,38	0,49	0,38	0,38	0,40	0,40	0,62	0,49
7	0,80	0,94	0,89	0,34	0,36	0,94	0,56	1,00
8	1,01	1,03	1,11	0,61	0,63	0,70	1,02	1,14
9	0,61	0,64	0,69	0,61	0,62	0,62	0,93	0,72
10	0,48	0,48	0,48	0,48	0,50	0,50	0,74	0,48
11	0,61	0,64	0,65	0,48	0,50	0,74	0,79	0,74
12	0,52	0,55	0,64	0,36	0,37	0,37	0,58	0,67
13	0,47	0,59	0,59	0,47	0,49	0,49	0,78	0,74
14	1,17	1,47	1,46	0,38	0,40	1,39	0,63	1,84
15	1,27	1,29	1,27	0,49	0,49	0,90	0,78	1,29
16	0,49	0,53	0,53	0,40	0,47	0,69	0,77	0,66
17	0,51	0,55	0,56	0,38	0,41	0,55	0,64	0,62
18	0,33	0,38	0,37	0,24	0,26	0,37	0,41	0,53
19	0,16	0,19	0,20	0,13	0,14	0,19	0,22	0,26
20	0,53	0,67	0,58	0,64	0,71	0,73	1,09	0,66
<u>Med outliers</u>								
Medel	0,60	0,67	0,67	0,39	0,41	0,58	0,65	0,71
Stdavvikelse	0,29	0,31	0,32	0,15	0,16	0,30	0,25	0,39
<u>Utan outliers (*)</u>								
Medel	0,59	0,66	0,65	0,41	0,44	0,61	0,69	0,75
Stdavvikelse	0,28	0,32	0,32	0,13	0,13	0,27	0,21	0,30

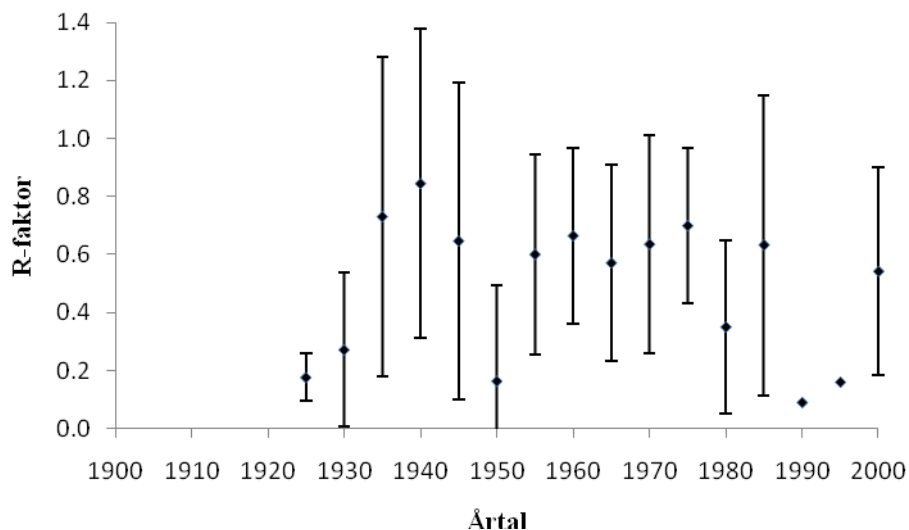
Figur 20 visar hur stor del av differensen i R-faktor från det ideala 1, utifrån grundmodellen, som förklaras av tillförandet av information av reducerad dagvattentaxa och indelning efter byggnadsålder. Ur Figur 20 syns det att varken införandet av fastigheter med reducerad dagvattentaxa eller åldersindelning följer differensen i R-faktor. Däremot syns det en samvariation mellan reducerad dagvattentaxa och åldersindelning likt Brommamodellen (Figur 16).



Figur 20 Förklaringsgraden av differensen i R-faktor från det idealet 1 som förklaras av indelning i reducerad dagvattentaxa och åldersindelning för modell Henriksdal södra.

4.4 SYVAB-MODELLEN

För SYVAB-modellen fanns endast underlag i form av gatuyta. Underlagsmaterial för villa och flerfamilj/industri skapades utifrån Stockholm Vattens kartdatabas GIVAS. I Figur 21 visas spridningen av reduktionsfaktorerna för respektive åldersindelning för SYVAB-modellen. Medelvärdet för varje åldersindelning uppvisar en stor spridning. Framförallt syns en stor spridning i standardavvikelsen för respektive åldersintervall.



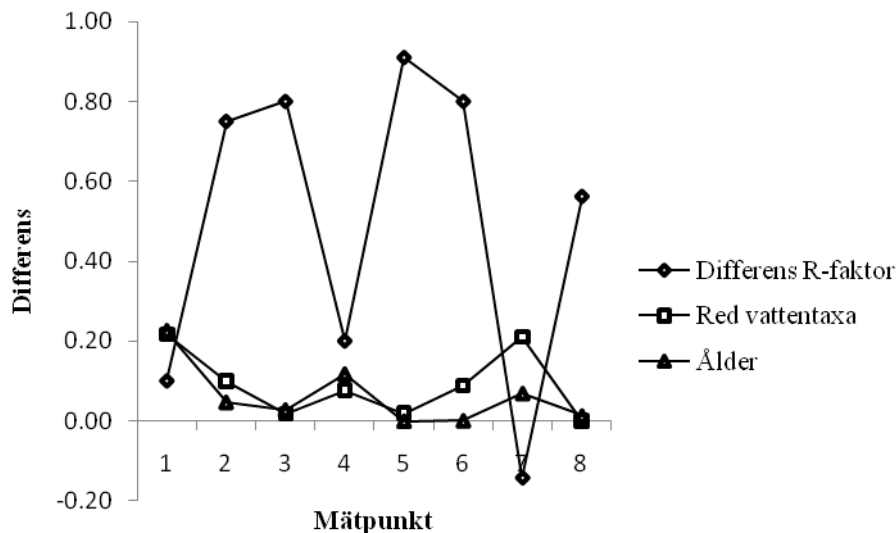
Figur 21 Spridning av R-faktorer för respektive åldersindelning för modell SYVAB. 1900 innefattar åldersintervallet från 1900-1905. Inga av delavrinningsområdena i SYVAB-modellen var klassificerade i åldersintervallet fram till 1920, därför saknas mätvärden för de åldersintervallen.

I Tabell 10, undantaget mät punkt 8, syns det en stor spridning av R-faktorerna både för den gamla befintliga modellen och för alla nya indelningar. Det visar sig genom att standardavvikelsen genomgående är hög för alla indelningar. SYVAB-modellen likt Henriksdal norra saknade komplett underlagsmaterial (8) vilket medför att resultaten från SYVAB-modellen skall tolkas med försiktighet. Därför är resultaten från modell Henriksdal norra (Tabell 8) och SYVAB-modellen (Tabell 10) inte beskrivet och diskuterat i samma utsträckning som övriga två modeller.

Tabell 10 Sammanställning av medelreduktionsfaktorn för respektive mät punkt och indelning för modell SYVAB. För mät punkt 8 saknades det underlagsmaterial, därför är mät punkten angiven som en outlier.

Mät punkt	Gammal R-faktor	Red vattentaxa	Ålder	Comb & Storm	Kal. storm-koefficienter	Kal. Comb & Storm	Total
1	0,90	1,12	1,13	0,99	1,48	1,48	1,36
2	0,25	0,35	0,30	0,25	0,25	0,39	0,41
3	0,20	0,22	0,23	0,22	0,23	0,32	0,25
4	0,80	0,88	0,92	1,06	1,59	1,59	0,97
5	0,09	0,11	0,09	0,10	0,11	0,16	0,11
6	0,20	0,29	0,20	0,26	0,26	0,39	0,24
7	1,14	1,35	1,21	1,23	1,24	1,85	1,39
8*	0,44	0,44	0,45	0,00	0,00	0,00	0,45
<u>Med outliers</u>	0,50	0,59	0,57	0,51	0,64	0,77	0,65
Medel	0,39	0,46	0,45	0,49	0,67	0,74	0,52
Stdavikelse							
<u>Utan outliers(*)</u>							
Medel	0,51	0,62	0,58	0,59	0,74	0,88	0,68
Stdavikelse	0,42	0,49	0,48	0,48	0,66	0,72	0,55

Figur 22 visar hur stor del av differensen i R-faktor från det ideala 1, utifrån grundmodellen, som förklaras av tillförandet av information av reducerad dagvattentaxa och indelning efter byggnadsålder. I figuren syns det att varken reducerad dagvattentaxa eller åldersindelning förklarar differensen i R-faktor från tidigare modelluppställning. Emellertid följer reducerad dagvattentaxa och åldersindelning varandra bra, likt Brommamodellen (Figur 16) och Henriksdal södra (Figur 20) för respektive mät punkt.



Figur 22 Förklaringsgraden av differensen i R-faktor från det idealet 1 som förklaras av indelning i reducerad dagvattentaxa och åldersindelning för modell SYVAB.

4.4 SLUTET OCH ÖPPET BYGGNADSSÄTT

Tabell 11 visar en sammanställning över R-faktorerna efter indelning i villaområden med öppet byggnadssätt och övriga områden. Vid indelning i villaområden/övriga områden är avrinningskoefficienterna för villaområden reducerade med 20 procent för alla byggnadstyper bortsett från gatuytor som reducerades med 60 procent. I kolumn 3 är antalet typområden reducerat till 2, *combined* och *stormwater*. Indelningen med 2 typområden och kalibrerade avrinningskoefficienter är processad med avrinningskoefficienter enligt Tabell 4.

Tabell 11 visar att för Brommamodellen ändras inte standardavvikelsen nämnvärt från tidigare, bortsett mät punkt 6, vid indelning efter villaområden och övriga områden. Det som går att avläsa från tabellen är att medel R-faktorn för modellen ökar. Detta samtidigt som att R-faktorn för mät punkt 16, 17, 18 och 20 inte ändras. Det är liktydigt med tidigare införd information, såsom reducerad dagvattentaxa och åldersindelning (Tabell 6). Endast en mät punkt (7), överstiger uppsatt noggrannhet för R-faktorn på 30 procent, bortsett mät punkt 6, vid indelning av delavrinningsområdena i villa och övriga områden.

Henriksdal södra uppvisar ett likvärdigt resultat som Brommamodellen vid indelning i villaområden och övriga områden. Standardavvikelsen ökar inte, utan tvärtom minskar, vid indelning i 2 typområden och indelning efter villaområden/övriga områden (kolumn 7). Ingen R-faktor för någon mät punkt överstiger uppsatt noggrannhet på +30 procent. Däremot har flertalet av mätpunkterna en låg R-faktor, vilket syns då medel R-faktorn ligger kvar på samma nivå som vid gammal modelluppställning.

Tabell 11 Sammanställning över R-faktorer för Bromma och Henriksdal södra vid indelning av delavrinningsområdena i villaområden och övrigt. En mätpunkt är inte medtagen i Brommamodellen på grund av uppenbara fel i tidigare modell.

Mät punkt	BROMMA				HENRIKSDAL SÖDRA			
	Gammal R-faktor	Indelning villa	Villa, storm & comb	Vila, storm, comb & kal.	Indelning villa	Villa, storm & comb	Villa, storm, comb och kal.	Gammal R-faktor
1	1,00	0,86	0,86	0,86	0,76	0,64	0,73	0,49
2	0,50	0,48	0,48	0,49	0,67	0,62	0,66	0,44
3(*Henriksdal)	0,60	0,60	0,60	0,61	0,00	0,00	0,00	0,90
4	1,00	0,99	0,99	0,99	0,61	0,43	0,44	0,57
5	0,60	0,81	0,81	0,81	0,39	0,37	0,37	0,36
6(*Bromma)	2,00	2,47	2,47	3,71	0,77	0,77	0,77	0,38
7	1,00	1,59	1,59	1,60	1,01	0,52	0,52	0,80
8	1,00	1,00	1,00	1,01	0,82	0,77	0,80	1,01
9	0,59	0,63	0,61	0,63	0,62	0,62	0,62	0,61
10	0,98	0,90	0,90	0,94	0,50	0,50	0,50	0,48
11	0,89	0,95	0,84	1,01	1,12	0,75	0,76	0,61
12	0,84	1,12	1,12	1,13	0,43	0,43	0,43	0,52
13	0,40	0,57	0,57	0,57	0,93	0,93	0,93	0,47
14	0,76	0,77	0,77	0,78	1,74	0,77	0,77	1,17
15	1,00	1,01	0,84	0,87	0,90	0,49	0,50	1,27
16	0,11	0,11	0,11	0,16	0,77	0,63	0,76	0,49
17	0,11	0,07	0,07	0,10	0,59	0,50	0,52	0,51
18	0,08	0,26	0,26	0,38	0,50	0,40	0,43	0,31
19	0,52	0,78	0,78	1,17	0,23	0,20	0,22	0,16
20	0,11	0,11	0,11	0,16	0,98	0,98	1,01	0,53
<u>Med outliers</u>								
Medel	0,70	0,80	0,79	0,90	0,72	0,57	0,59	0,60
Median	0,68	0,79	0,79	0,84	0,71	0,57	0,57	0,51
Stdavvikelse	0,45	0,55	0,54	0,76	0,37	0,24	0,24	0,29
<u>Utan outliers (*)</u>								
Medel	0,62	0,67	0,65	0,70	0,70	0,56	0,58	0,61
Median	0,60	0,78	0,77	0,79	0,65	0,56	0,57	0,51
Stdavvikelse	0,34	0,34	0,33	0,34	0,38	0,24	0,25	0,29

I Tabell 12 syns R-faktor för fyra villaområden i en modell över Köpings stad. Det är endast mätpunkt *Hagavägen* som inte uppnår noggrannhet på +/- 30 procent.

Processning av områdena är gjorda med avrinningskoefficienter efter Tabell 4 och skall jämföras med kolumn 4 och 7 i Tabell 10.

Tabell 12 Reduktionsfaktor för respektive mätpunkt i Köping vid indelning av delavrinningsområden i villa och övriga områden. Processning är gjord med avrinningskoefficienter enligt Tabell 3.

Mät punkt	R-faktor
Åkerbovägen	0,99
Elund	1,10
Hagavägen	0,67
Istanösvägen	0,90

5 DISKUSSION

5.1 REDUCERAD DAGVATTENTAXA

Införandet av fastigheter med reducerad dagvattentaxa uppvisade inte det resultat som önskades. Vid närmare studier av delavrinningsområden med hög andel fastigheter med reducerad dagvattentaxa, till exempel delavrinningsområden tillhörande mätpunkter SNB83593 och SNB85354 i modellen Henriksdal södra, syns en del av förklaringen till resultatet (Tabell I, Bilaga 1). Om 57 respektive 60 procent av den hårdgjorda ytan för villor subtraheras bort från den totala hårdgjorda ytan för varje mätpunkt kommer det inte förklara modellfelet då villor endast står för 28 respektive 26 procent av den totala hårdgjorda ytan (Tabell I, Bilaga 1).

Införandet av fastigheter med reducerad dagvattentaxa ger en större påverkan på den hårdgjorda ytan i nuvarande modellstruktur då området är klassificerat som *stormwater*-område. I detta fall ger endast villatak och flerfamiljstak bidrag till avrinningen, i motsats till kombinerade områden där även gatuytor, hårdgjorda ytor och grusad ytor också tas med i beräkningarna.

Henriksdal södra är den modell som innehåller flest fastigheter med reducerad dagvattentaxa (Figur 13). Trots detta, ändras inte modellresultatet mer jämfört med övriga modeller vid införandet av fastigheter med reducerad dagvattentaxa. Det beror delvis på att för att reducerad dagvattentaxa skall ha en stor inverkan på det slutgiltiga resultatet krävs det att området är klassificerat som ett *stormwater*-område. Genom att studera Figur 13 syns det att de områden innehållande mycket fastigheter med reducerad dagvattentaxa, vanligen är kombinerade områden. Slutsatsen från arbetet blir då att tillförande av fastigheter med reducerad dagvattentaxa till modellerna inte väsentligt förbättrar det slutgiltiga resultatet i form av förklaringsgrad för modellerna.

Det slutgiltiga resultatet som gavs från införandet av fastigheter med reducerad dagvattentaxa beror till stor del på noggrannheten i beräkningen av totala antalet fastigheter. Antalet reducerade fastigheter får anses vara korrekt, då det finns register över detta. Det totala antalet fastigheter är beräknade utifrån filen från Stockholm Vatten innehållande alla förbrukare kopplade till deras nät. Det totala antalet förbrukare behöver dock inte vara de samma som totala antalet fastigheter då alla fastigheter inte behöver vara kopplade till Stockholm Vattens ledningsnät. Försök gjordes med att räkna fastigheterna på andra vis, bland annat genom att räkna antalet fastigheter utifrån byggnadsfilerna för varje byggnadstyp och modell. Resultatmässigt ansågs metoden utifrån totala antalet förbrukare ge noggrannaste resultatet. För övriga metoder var ibland antalet reducerade förbrukare större än totala antalet förbrukare. Vid uppställning av framtida modeller behöver den aspekten tas i beaktande.

5.2 INDELNING EFTER BYGGNADSÅLDER

Figur 15, 17, 19 och 21 visar spridningen i R-faktorer för respektive åldersintervall och typområde. Ur figurerna är det svårt att se något klart samband mellan anläggningsåret för kombinerade- och spillvattenledningar och R-faktorn. Om man studerar medelvärdena för åldersintervall mellan 1955-1975 i Figur 15, 17 och 19 kan man ana ett något lägre medelvärde än för övriga åldersintervall. Nya processningar gjordes genom att reducera de hårdgjorda ytorna för de åldersintervallen med en viss procentsats. Tjugo procents reducering av den hårdgjorda ytan för dessa intervallen gav det bästa resultatet. Det anmärkningsvärda var att differensen i R-faktor för reducerad dagvattentaxa och indelningen efter byggnadsålder följdes åt för fleratlet mätpunkter för alla modeller. Speciellt tydligt är det för modell Henriksdal södra. Det skulle antyda att där fanns en samverkan mellan byggnadsålder och andelen reducerad dagvattentaxa. Möjligen kan det vara så att till exempel villaområden byggda under 30- och 40-talet redan byggdes så att takvatten avleddes ut på gräsmattan. Under 30 och 40-talet var Stockholm inte så tätbefolkat, möjlighet fanns att välja bäst lämpade platserna för byggnation. Detta har gjort att det varit möjligt att avleda takvatten på gräsmattan utan problem med inläckage i till exempel källaren. Vid ett samband mellan byggnadsålder och andelen fastigheter med reducerad dagvattentaxa skulle införandet av fastigheter med reducerad dagvattentaxa även täcka informationen om åldersvariationer.

5.3 KALIBRERING AV STORMKOEFFICIENTER

Tidigare utredningar (Stockholm Vatten(a), 2008) kom fram till att avrinningskoefficienterna för typområde *stormwater* var valda för högt. Resultatet från gjorda undersökningar visar att genom att minska avrinningskoefficienterna med 1/3 för villa och flerfamiljshus/industri ökade medelvärdet på Brommamodellen med 6 procent medan standardavvikelsen låg kvar på samma nivå (Tabell 6). Vid validering av de nya koefficienterna påvisas ett likvärdigt resultat. Medelvärdet för R-faktorn för Henriksdal södra ökade med 3 procent samtidigt som standardavvikelsen låg kvar på samma nivå (Tabell 9). Då avrinningskoefficienterna sänktes mer än en 1/3 ökade standardavvikelsen orimligt mycket, beroende på att mätpunkter innehållande en stor andel delavrinningsområden klassificerade som *stormwater* påverkades mycket vid en kraftig reducering av avrinningskoefficienterna. Andra mätpunkter innehållande en blandning av olika typområden påverkas inte lika kraftigt eftersom övriga typområden kan buffra en förändring.

5.4 INDELNING I TVÅ TYPOMRÅDEN, COMBINED OCH STORMWATER

Målsättningen vid processning med endast två typområden var att se om det var möjligt att bibehålla förklaringsgraden för modellerna med endast två indelningar. Dåligt resultat påvisades då *wastewater*-områdena processades som *stormwater*-områden. Bättre resultat kunde uppvisas då *wastewater*-områden processades om som *combined* (Tabell 6 och Tabell 9). Medelreduktionsfaktorn sänktes något både för Brommamodellen och för Henriksdal södra, medan standardavvikelsen låg kvar på

samma nivå eller sänktes något. Endast två reduktionsfaktorer var större än 1 för Brommamodellen, vilket indikerade att avrinningskoefficienterna var för höga. När sedan avrinningskoefficienterna reducerades ökade standardavvikelsen och över hälften av mätpunkterna i Brommamodellen fick en reduktionsfaktor större än 1. Resultatet visar att indelningen *wastewater* inte är nödvändig, om modellernas aktuella förklaringsgrad, är acceptabel.

5.5 UTVÄRDERING AV MODELLERNA

I avsnittet nedan är delmodellerna diskuterade i form av vad som är avvikande, samt vad som kan vara förklaringen till det avvikande.

5.5.1 SYVAB-modellen

SYVAB-modellen var den av modellerna som hade den största spridningen av reduktionsfaktorer. Ungefär hälften av mätpunkterna hade en hög reduktionsfaktor och hälften en mycket låg reduktionsfaktor (Tabell 10). Vid närmare undersökningar av SYVAB-modellen syntes att mätpunkt 2, 3, 5 och 6 (Tabell 10) hade låga avrinningskoefficienter. Ingen av mätpunkternas reduktionsfaktor hade ändrats nämnvärt i någon av de indelningar som gjordes.

Genom att studera de olika mätpunkterna syns att mätpunkt 2 och 5 innehåller stora villaområden som huvudsakligen är uppförda mellan 1940 till 1960-talet enligt åldern på avloppsledningarna. Mät punkt 2 ligger i anslutning till mätpunkt 12 i Brommamodellen som också innehåller likande villabebyggelse. Majoriteten av delavrinningsområdena är klassificerade som *combined*. Inom mätpunkt 5 ligger också ett större bostadsområde, Bredäng, som är byggt under miljonprogrammet. Området kan liknas vid områden som Tensta, Akalla och Rinkeby som innefattas av Brommamodellen. Större områden inom framförallt mätpunkt 3 är relativt tätbebyggda flerfamiljshus områden.

Mät punkt 6 innefattar Stora Essingen, området är klassificerat som *combined*, men enligt bestämda definitioner borde det vara klassificerat som *stormwater* alternativt *wastewater*. Om hela mätpunkten klassificeras som *stormwater* ändras R-faktorn gamla 0,2 till 2,75 och om hela området klassificeras som *wastewater* blir R-faktorn 0,55.

Vad skiljer då mätpunkterna med låg R-faktor från dem med högre R-faktor i SYVAB-modellen? Mät punkt 1 är ett förhållandevis tätbebyggt område med flerfamiljshus. Mät punkt 4 täcker ett stort område innehållande allt från villabebyggelse till miljonprogramsbyggen i Skärholmen, medan mätpunkt 7 är tvärdelad i dels villabebyggelse men också mer tätbebyggt flerfamiljsområde vid Midsommarkransen.

En hypotes som funnits är att skilja på ett slutet och ett öppet byggnadssätt, då en jämlig hårdgjord yta antas bidra olika mycket till dagvattenflödet i avloppsledningarna beroende på slutet eller öppet byggnadssätt. Undersökningar i ämnet har gjorts tidigare bland annat Ravagnani & Pellegrinelli, (2008) (avsnitt 3.3.4). Skillnaden i R-faktorer

som finns i SYVAB-modellen kan inte förklaras helt med denna hypotes. Likafullt visar SYVAB-modellen att avrinningskoefficienterna troligen är valda för höga i villaområden med ett öppet byggnadssätt.

5.5.2 Brommamodellen

Mätpunkt 17,18,19 och 21 (Tabell 6) tillhörande Brommamodellen har enligt tidigare modelluppställning mycket låga reduktionsfaktorer. De har heller inte ändrats nämnvärt vid nya indelningar och tillförandet av ny information. Mätpunkterna 17, 18 och 21 består av miljonprogramsområden som Tensta Akalla, Rinkeby och Kista, som jämfört med mätpunkt 19, består av blandad bebyggelse i form av villor och flerfamiljhus. Delavrinningsområdena som är kopplade till mätpunkterna 17, 18, 19 och 21 har en mycket liten andel hårdgjord yta. För mätpunkt 17,18 och 21 är den kalibrerade hårdgjorda ytan endast 0,2 procent av den totala ytan av avrinningsområdet, medan mätpunkt 19 med blandad bebyggelse har en kalibrerad hårdgjord yta på 0,7 procent av den totala, vilket måste anses vara en mycket liten andel. Liknande miljonprogramsbyggen som mätpunkt 17, 18, 21 återfinns i Skärholmen och Bredäng i Stockholms södra förorter. Delavrinningsområde innehållande miljonprogramsbyggen i Skärholmen har en kalibrerad andel hårdgjorda ytor på 1,5 procent och skall jämföras med 0,2 procent för mätpunkt 17, 18 och 21. Vid jämförelse mellan icke kalibrerade ytor mellan Skärholmen och mätpunkt 17,18 och 21 för Brommamodellen visar det sig att Skärholmen har en genomsnittlig hårdgjorda yta på 1,7 procent, Bredäng 3,8 procent medan mätpunkt 17,18 och 21 har en genomsnittlig hårdgjord yta på 1,8 procent. Jämförelse mellan den genomsnittliga hårdgjorda ytan mellan mätpunkterna är inget precist mått, gränsdragningen av delavrinningsområdena är viktig, då andelen icke hårdgjord yta nu spelaren en funktion, men det kan ge en indikation om det finns något samband mellan områdena.

Varför hade då mätpunkt 17,18 och 21 en mycket lägre reduktionsfaktor jämfört med mätpunkt Skärholmen och Bredäng? Alla delavrinningsområden är klassificerade som *stormwater*-områden och byggda under miljonprogrammet. Skillnader kan ses i att mätpunkterna knutna till Brommamodellen, mätpunkt 17, 18, 19 och 21 ligger vid Järvafältet, vilket är ett plant område. Mätpunkt Skärholmen ligger i ett mer kuperat område. Flödesmätningarna för Brommamodellen respektive SYVAB-modellen är utförda under två olika år. Brommamodellen under 2005 och SYVAB-modellen under 2006. Den största skillnaden är dock att mätpunkterna 17, 18 och 21 innefattar nästan uteslutande miljonprogramsbebyggelse, medan Skärholmen och Bredäng endast är specifika delavrinningsområden uttagna ur en mätpunkt. Värdena på reduktionsfaktorn för Skärholmen och Bredäng påverkas då av omkringliggande delavrinningsområden, vilket gör det svårt att säga vad som påverkar resultatet.

5.5.3 Henriksdal södra

Henriksdal södra har i förhållande till de övriga modellerna genomgående låga reduktionsfaktorer. 8 stycken mätpunkter har en reduktionsfaktor lägre än 0,5. 2 stycken mätpunkter har en mycket låg reduktionsfaktor, mätpunkt 18 och 19 (Tabell 9) på 0,16

respektive 0,33. Genomgående för de mätpunkter som har en reduktionsfaktor under 0,5 är att inom området finns det en dominerande del villabebyggelse med öppet byggnadssätt. Mät punkt 17 och 18 består endast av villabebyggelse. De mätpunkter som har högst R-faktor, mät punkt 14 och 15 (Tabell 9), R-faktor på 1,17 respektive 1,27 består huvudsakligen av Västberga industriområde. Det stöder hypotesen att avrinningskoefficienterna för villabebyggelse med öppet byggnadssätt är valda för höga.

5.5.4 Henriksdal norra

Ingen av mätpunkterna i Henriksdal norra har en reduktionsfaktor lägre än 0,5. Det finns tre stycken mätpunkter med en reduktionsfaktor mellan 0,5-0,6, mät punkt 2, 16 och 18 (Tabell 8). De innefattar dels södra delarna av Södermalm, området längs vattnet från Zinkensdamm till Eriksdalsbadet. Det är områden med flerfamiljshus och med mycket kringliggande grönområden. Andra delen består av tätbebyggt område kring Stockholms stadshus vid Norr mälärstrand. Alla avrinningsområden är klassificerade som *combined*. Varför dessa mätpunkter har lägre R-faktor än övriga i Henriksdal norra går inte att förklara med indelning i slutet och tätbebyggt område.

5.6 SLUTET OCH ÖPPET BYGGNADSSÄTT

Indelningen av avrinningsområdena i villaområden med öppet byggnadssätt och övriga områden gav goda resultat (Tabell 11). En bibehållen förklaringsgrad kunde bevaras med en minskning till 2 typområden, med reducerade avrinningskoefficienter, istället för 3 typområden (Tabell 11). Resultatet från valideringen av villaområden med öppet byggnadssätt i Köping uppvisade goda resultat. Tidigare R-faktorer för mätpunkterna var mellan 0,35-1,6. Den nya indelning och de nya avrinningskoefficienterna gav en spridning mellan 0,67-1,1 (Tabell 12).

Underlaget som har använts i modellerna över Stockholm och Köping har innehållit vägar med enhetlig bredd, alla vägar och gator är angivna med samma bredd. Det kan inte anses ge en sann bild av verkligheten. Om modellunderlaget innehåller vägytor med varierande bredd kommer avrinningskoefficienterna troligen att få väljas annorlunda, eftersom den totala vägytan då sannolikt stämmer bättre överens med verkligheten.

Den övervägande delen av villaområdena som innefattats i arbetet har varit klassificerade som *combined*-områden. I genomsnitt bidrar vägytorna med mer än 30 procent till den totala hårdgjorda ytan i *combined*-områden. Det är åter anledningen varför vägytornas reduktionskoefficienter är reducerade med 60 procent jämfört med 20 procent för övriga hårdgjorda ytor. Vägytan bidrar inte i lika stor utsträckning som väntat till ytavrinningen i villaområden, alternativt är vägytans areal övervärderad.

5.7 FORTSATT UTVECKLING

Införandet av informationen om reducerad dagvattentaxa och indelning av delavrinningsområdena efter byggnadsålder gav inte det resultatet som var önskat. Möjligen hade resultatet varit ett annat om underlagsmaterialet för Henriksdal norra och SYVAB-modellen varit av bättre kvalitet. Resultatet från indelning i 2 typområden istället för 3, uppvisade goda resultatet. Indelningen i 2 typområden skulle vara intressant att arbeta vidare med samtidigt med en separering av olika områdestyper, såsom indelning i öppet och slutet byggnadssätt. Tätbebyggda områden ges en uppsättning högre avrinningskoefficienter jämfört med öppna byggnadssätt. Från arbetet som har utförts anses det vara svårt att konstruera en modell som inte behöver kalibreras, det vill säga förklaringsgraden för modellen ligger inom +/- 30 procent.

Därför kan det vara av intresse att i framtiden utveckla en mindre tidskrävande modell med bibehållen noggrannhet. Ett alternativ jämfört med dagens modellstruktur är att använda avrinningskoefficienter efter landområdestyp (Tabell 2). Några liknande områden efter byggnadstyp är utvalda (Tabell II, Bilaga 1) oberoende av typområde. Som synes finns det ett samband mellan byggnation och andelen hårdgjord yta. Problemet med denna typ av indelning är att klassificera alla typer av indelningar. Det är relativt enkelt för innerstad och villaområden, men svårare för olikartade områden, till exempel hamnar och flerfamiljsområden. Enligt tidigare studier har denna metod inte lika hög noggrannhet (Lee French, 2008; Granlund & Nilsson, 2000).

6 SLUTSATSER

- Införandet av informationen om fastigheter med reducerad dagvattentaxa bidrar inte nämnvärt till en ökad förklaringsgrad för modellen, om inte området är klassificerat som *stormwater*. Detta eftersom det i de områden som inte är klassificerade som *stormwater* utgör den hårdgjorda ytan från fastigheter en mindre del jämfört med den totala hårdgjorda ytan.
- Indelningen i delavrinningsområden efter byggnadsålder på spillvattenledningar och kombinerade ledningar gav inte någon förklaring till spridningen i R-faktor. Vid en 20 procentig reduktion av den hårdgjorda ytan för områden i åldersintervallet 1955-1975 gav ett liknande resultat som vid införandet av fastigheter med reducerad dagvattentaxa. Information som införandet av fastigheter med reducerad dagvattentaxa innefattar då även åldervariationer i R-faktor.
- Typområdesindelningen *wastewater* tillför inte någon högre förklaringsgrad till modellstrukturen. Då områden klassificerade som *wastewater* klassificerades om till *combined* bevarades en likvärdig förklaringsgrad av modellen. Reducering av avrinningskoefficienterna vid 2 typområden resulterade i en bättre förklaringsgrad. Medel och medianvärde närmade sig 1. Standardavvikelse sjönk jämfört med tidigare modellstruktur med 3 typområden.
- Reduktion av avrinningskoefficienterna för villaområden med ett öppet byggnadsätt medför en högre förklaringsgrad till modellen.
- Tätbebyggda områden, som exempelvis Stockholms innerstad, bör väljas med högre avrinningskoefficienter jämfört med områden med ett öppnare byggnadsätt, exempelvis förortsområden.

LITTERATURFÖRTECKNING

DHI-group. (u.d.). Hämtat från DHI software:

<http://www.dhisoftware.jp/Software/Urban/MOUSE.asp>

Chow, V-T., Maidment, D.R., & Mays, L.W., (1988) *Applied hydrology*, International edition 1988. Singapore ISBN 0-07-100174-3

Dongquan, Z., (2009) *GIS-based urban rainfall runoff modeling using an automatic catchment-discretization approach: a case study in Maca*. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing, China

Frimodt, K-O., (2008) *Användarvänlighet hos programverktyg för beräkningar av flöden och dämningarnivåer i avloppsnät, en jämförelse av SWMM, PCSWMM, Mike Urban och SewerGEMS*, Examensarbete, Institutionen för geovetenskaper, luft vatten och landskapslära, Uppsala Universitet ISSN nr 1401-5765

Gustafsson, L-G.,(1993) *Simulering av hydrologin inom urbana områden. Metodikmanual- MouseNAM*. VA-Forsk Rapport nr 1993-04 ISSN nr 1102-5638

Granlund, B. & Andréasson, M., (1997) *Analys av avloppssystem med datormodeller. Tillämpningsexempel med MOUSE-systemet*. VA-Forsk Rapport nr 1997-9 ISSN nr 1102-5638

Granlund, B. & Nilsson, D., (2000) *Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av avloppsmodeller*. VA-Forsk Rapport nr 2000-7 ISSN nr 1102-5638

Grip, H. & Rodhe, A., (1994) *Vattnets väg från regn till bäck*. Uppsala, ISBN 91 7382724 X

Hansen, C., (2008) *Dimensionering av dagvattenledningar med programmet Inroads Storm & Sanitary*, Examensarbete, Institutionen för geovetenskaper, luft vatten och landskapslära, Uppsala Universitet ISSN nr 1402-5765

Hammarlund, H., Sweco, Muntligen (juni-nov, 2009)

Huang, J-H., (2007) *Effect of growing watershed imperviousness on hydrograph parameters and peak discharge*. Hydrological Processes, Vol 22, No.1, 2008, s 2075-2085

Lee, S. & French, S.P., (2008) *Regional impervious surface estimation: an urban heat application*. Journal of Environmental Planning and Management, Vol. 52, No. 4, 2009, s 477-496.

Ljung, L. & Glad, T., (2004) *Modellbygge och simulering*. Studentlitteratur, ISBN 978-91-44-02443-1

- Mahesh Kumar Jat, P.K., (2007) *Monitoring and modeling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, nr 10, 2008, s 26-43
- Mansell, M. & Rollet, F., (2009) *The effect of surface texture on evaporation, infiltration and storage properties of paved surface*. Water Science & Technology, Vol. 60, No 1, 2009, s 71-76
- Nationalencyklopedin, (www.ne.se), hämtat 2009-10-15, sökord; *modell*
- Naturvårdsverket. (2008) *Miljömålen i korthet och en sammanfattning av miljömålsrådets utvärdering, 2008*. ISSN nr 1654-4641
- Norberg, R. (1983) *Stockholms avloppssystem, Plan 1983*
- Ravagnani, F. & Pellegrinelli, A., (2008) *Estimation of urban impervious fraction from satellite images and its impact on peak discharge entering a storm sewer system*. Water Resource Manage, Vol. 23, 2009, s 1893-1915
- Stahre, P., (2006) *Sustainability in urban storm drainage*. Stockholm: Svenskt Vatten
- Stockholm Vatten(a), (2008) *Beräkningsmodeller för huvudavlopps nätet, Dokumentation av modellerna samt använd metodik*. Stockholm
- Stockholm Vatten(b), (2008) *Avgift för vatten och avlopp*. Stockholm
- Svenskt Vatten (2004) *Dimensionering av allmänna avloppsledningar P90*, ISSN nr 1651-4947
- Thomas, P. & Rizwan, N., (2007) *An investigation into the extent and impacts of hard surfacing of domestic gardens in an area of Leeds, United Kingdom*. Landscape and Urban Planning, Vol. 86, 2008, s 1-13
- Thorndahl, S., (2006) *Assessment of runoff contributing catchment areas in rainfall runoff modeling*. Water Science and Technology, Vol. 54, No 6-7, 2006, s 49-56
- Xian, G., Crane, M., & Su, J., (2007) *An analysis of urban development and its environmental impact on the Tampa Bay watershed*. Journal of environmental management 85, 2007

BILAGA 1

Tabell I Egenskaper för mätpunkter SNB83593 och SNB85354 gällande reducerad dagvattentaxa och andel hårdgjorda ytor.

	<i>Reducerad dagvattentaxa [%]</i>		<i>Andel hårdgjord yta [%]</i>				<i>G. R-faktor</i>
	<i>Villa</i>	<i>Flerfamiljshus</i>	<i>Villa</i>	<i>Flerfamiljshus</i>	<i>Gatuyta</i>	<i>Övrigt</i>	
SNB83593	57	16	28	20	35	17	0,33
SNB85354	60	11	26	26	37	11	0,19

Tabell II Procentuella andelen hårdgjord yta för utvalda villa och innerstadsområden i Stockholms stad.

Område	Typ	Total area	Hårdgjord yta kal.	Andel hårdgjort [%]
Äppelviken	Villa	191	16	8,4
Huddinge	Villa	9370	544	5,8
Huddinge norra	Villa	439	33	7,5
Stockholmsmässan	Villa	386	26	6,7
			Medel	7,1
Innerstan	Innerstad	518	143	27,6
Kungsholmen	Innerstad	385	81	21,0
Södermalm	Innerstad	616	153	24,8
			Medel	24,5