

Master Thesis  
TVVR 23/5008

# Hur avrinningskoefficienten varierar med återkomsttid

En jämförelse mellan fyra olika områden  
i Sverige

---

Nina Enger



Division of Water Resources Engineering  
Department of Building and Environmental Technology  
Lund University

# How the runoff coefficient varies with return period

A comparison between four different  
areas in Sweden

By:  
Nina Enger

Master Thesis

Division of Water Resources Engineering  
Department of Building & Environmental Technology  
Lund University



Box 118  
221 00 Lund, Sweden

Water Resources Engineering  
TVVR-23/5008  
ISSN 1101-9824

Lund 2024  
[www.tvrl.lth.se](http://www.tvrl.lth.se)

Master Thesis  
Division of Water Resources Engineering  
Department of Building & Environmental Technology  
Lund University

Swedish title: Hur avrinningskoefficienten varierar med återkomsttid  
English title: How the runoff coefficient varies with return period  
Author(s): Nina Enger  
Supervisor: Magnus Persson  
Examiner: Linus Zhang  
Language: Swedish  
Year: 2024  
Keywords: Runoff coefficient; Return period; Modelling; MIKE+; Floodings.

## Förord

Detta arbete sätter punkt för min utbildning till Civilingenjör inom Ekosystemteknik på Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet utfördes på avdelningen Teknisk Vattenresurslära och i samarbete med Ramboll Sverige. Jag vill börja med att tacka mina handledare, Magnus Persson (LTH), Anton Blomqvist (Ramboll) och Sara Karlsson (Ramboll). Tack för svar på oändligt med frågor och för all stöttning genom arbetets gång! Tack också till min examinator Linus Zhang för genomläsning av arbetet och värdefulla kommentarer.

Jag vill även tacka hela avdelningen climate adaptation på Ramboll som fick mig att känna mig så välkommen. Tack Malmökontoret för att jag fick sitta och skriva hos er och för intressanta lunchdiskussioner. Tack Sandra Lundgren och Sannaz Rasouli för givande lektioner i kalibrering.

Stort tack även till SVOA och NSVA för att ni så generöst ville bidra med modell samt data över nederbörds- och flödesmätning. Tack också till DHI för studentlicensen av MIKE+.

# Abstract

## **How the runoff coefficient varies with return period**

As climate change progresses, heavy rainfall in Sweden is becoming more frequent and intense, coinciding with an increase in impermeable surfaces in urban areas. This raises the risk of flooding as drainage networks may exceed their capacity due to increased runoff. Understanding the amount of water flowing into drainage networks is crucial for assessing and managing flood risks, as well as appropriately designing and expanding these networks. Hydraulic models can simulate the flow from precipitation into the drainage networks. The purpose of this study was to investigate how the runoff coefficient, which is the parameter describing runoff in the models, varies depending on the return period of the rainfall loading the model. To examine this, pre-existing hydraulic drainage network models from SVOA and NSVA were used for four different areas. One area was in Sköndal, Stockholm, and three areas were locations in Åstorp municipality in Skåne. Flow and precipitation measurements were taken in the summer of 2023 at each location. Each area was subjected to 4 to 5 selected rain events with varying return periods.

The models were calibrated by loading them with the selected rains, after which parameters were adjusted to make the calculated and measured flow at the points match. The modified parameters included the reduction factor (symbolizing the runoff coefficient), time of concentration, and time-area curve.

The results showed that, on average, rains with shorter return periods had lower reduction factors compared to larger rains when analyzing individual locations. However, this trend did not hold when comparing all locations, likely due to multiple factors influencing runoff beyond just the return period of the rain. Factors such as initial soil saturation, rainfall intensity, soil type and the slope of the area also affect runoff. The results also indicated that the size of impervious surfaces affects runoff, but other factors play a role as well. In conclusion, isolating a single parameter is challenging, and additional studies with more rain events would be needed to obtain a better understanding of the results.

# Sammanfattning

## Hur avrinningskoefficienten varierar med återkomsttid

I takt med klimatförändringarna blir skyfallen i Sverige allt vanligare och mer intensiva, samtidigt som andelen impermeabla ytor i städer blir högre. Detta ökar risken för översvämningar eftersom ledningsnätets kapacitet överskrids genom den ökade avrinningen. Genom att veta hur mycket vatten som avrinner till ledningsnäten kan översvämningensrisken förutsägas och hanteras, och ledningsnäten kan dimensioneras rätt när de byggs ut och om. Med hjälp av hydrauliska modeller kan flödena till ledningsnätet från en viss nederbörd simuleras. Syftet med detta arbete var att undersöka hur avrinningskoefficienten, vilket är den parameter som beskriver avrinningen i modellerna, varierar beroende på vilken återkomsttid regnet som belastar modellen har. För att undersöka detta användes färdiga hydrauliska ledningsnätmodeller från SVOA respektive NSVA över fyra olika områden. Ett område var i Sköndal, Stockholm, och tre områden var tätorter i Åstorp kommun i Skåne. Flödes- och nederbörds-mätningen skedde sommaren 2023 på respektive plats. Varje område belastades med 4 till 5 utvalda regn med varierande återkomsttider.

Modellerna kalibrerades genom att belastas med de utvalda regnen varefter parametrar ändrades för att få det beräknade och uppmätta flödet i mätpunkterna att överensstämja. De parametrar som modifierades var reduktionsfaktorn (som symboliserade avrinningskoefficienten), koncentrationstiden samt tid-area kurvan.

Resultatet visade att regn med kortare återkomsttid i snitt hade lägre reduktionsfaktor jämfört med större regn när platserna analyserades var för sig. Däremot gällde inte trenden med högre reduktionsfaktor med längre återkomsttid när alla platser jämfördes. Troligtvis beror det på att det är fler faktorer som påverkar avrinningen än bara regnets återkomsttid. Till exempel påverkas avrinningen även av hur mättad marken var vid regnets start, hur regnet föll, vilken jordtyp marken består av samt områdets lutning. Därmed är det svårt att se en generell trend eftersom alla faktorer påverkar varandra. Resultatet visade även att storleken på den hårdgjorda ytan påverkar, men även här spelar andra faktorer in. Slutsatsen blir därmed att det är svårt att isolera en parameter, och fler studier hade behövts med fler regn för att få ett bättre resultat.

## Definitioner av centrala begrepp

<b>Avrinningsområde</b>	Det område som bidrar med avrinning till en viss punkt
<b>Avrinningskoefficienten <math>\varphi</math></b>	Anger hur stor andel av ett avrinningsområde som kan bidra med avrinning. Har ett värde mellan 0 och 1
<b>Ansluten hårdgjord yta</b>	Kallas även för reducerad area. Den andel av ett avrinningsområde som bidrar med snabb avrinning. Beräknas genom att multiplicera arean med avrinningskoefficienten enligt $A \cdot \varphi$
<b>Reduktionsfaktor</b>	Faktor som används vid kalibrering för att öka eller minska den teoretiskt beräknade hårdgjorda ytan.
<b>Koncentrationstid</b>	Den tid det tar för regnet att rinna till en punkt från den mest avlägsna platsen i det aktuella avrinningsområdet
<b>SVOA</b>	Stockholm Vatten och Avfall
<b>NSVA</b>	Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp
<b>Dagvatten</b>	Ytligt avrinnande regn- och smältvatten

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrund . . . . .	1
1.2	Syfte . . . . .	2
1.2.1	Avgränsningar . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Teori</b>	<b>3</b>
2.1	Grundläggande begrepp . . . . .	3
2.1.1	Skyfall . . . . .	3
2.1.2	Återkomsttid . . . . .	3
2.2	Ledningsnät och dess modeller . . . . .	4
2.2.1	Ledningsnätmodeller . . . . .	6
2.2.2	Avrinningsområde . . . . .	7
2.2.3	Avrinningskoefficienten $\varphi$ . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Kalibrering</b>	<b>11</b>
3.1	Arbetsgång vid kalibrering . . . . .	11
3.2	Kalibreringsmetoder för avrinning från hårdgjorda ytor . . . . .	12
3.2.1	Hårdgjord yta . . . . .	13
3.2.2	Koncentrationstid . . . . .	13
3.2.3	Tid-area kurva . . . . .	14
3.2.4	Initialförlust . . . . .	15
3.3	Bedömning av kalibreringen . . . . .	15
3.4	Infiltration och avrinning i urban miljö . . . . .	17
<b>4</b>	<b>Metodik</b>	<b>19</b>
4.1	Nederbörds- och flödesmätning . . . . .	19
4.2	Programvaran MIKE+ . . . . .	19
4.3	Sköndal i Stockholm . . . . .	21
4.3.1	Områdesbeskrivning . . . . .	21
4.3.2	Modellbeskrivning . . . . .	22
4.4	Åstorp kommun . . . . .	23
4.4.1	Områdesbeskrivning . . . . .	23
4.4.2	Modellbeskrivning . . . . .	25
<b>5</b>	<b>Metod</b>	<b>27</b>
5.1	Val av designregn . . . . .	27
5.1.1	Beräkning av återkomsttider . . . . .	27
5.2	Kalibrering i MIKE+ . . . . .	30
5.2.1	Val av avrinningsområden . . . . .	31



5.2.2	Beräkning av hårdgjord yta . . . . .	32
5.2.3	Beräkning av koncentrationstider . . . . .	34
5.2.4	Simuleringar . . . . .	34
<b>6</b>	<b>Resultat</b>	<b>37</b>
6.1	Sköndal . . . . .	37
6.2	Åstorp . . . . .	40
6.3	Hyllinge . . . . .	45
6.4	Kvidinge . . . . .	48
6.5	Samtliga områden . . . . .	50
<b>7</b>	<b>Diskussion</b>	<b>53</b>
7.1	Skillnad i beräknad hårdgjord yta . . . . .	53
7.2	Sköndal, Stockholm . . . . .	54
7.3	Åstorp tätort . . . . .	54
7.4	Hyllinge tätort . . . . .	55
7.5	Kvidinge tätort . . . . .	55
7.6	Jämförelse mellan regn i Åstorp kommun . . . . .	56
7.7	Felkällor . . . . .	58
7.8	Vidare studier . . . . .	59
<b>8</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>61</b>
<b>9</b>	<b>Referenser</b>	<b>63</b>

## Tabeller

1	Standardvärden för avrinningskoefficienten för olika bebyggelse-typer vid kortvariga regn (Svenskt vatten, 2019). . . . .	8
2	Standardvärden för avrinningskoefficienten för olika marktyper vid kortvariga regn (Svenskt vatten, 2019). . . . .	9
3	Förslag på olika flödes hastigheter (Blomquist m. fl., 2016). . . . .	14
4	Visar ett förslag på hur den färdiga kalibreringen kan bedömas. . . . .	16
5	Tabell över hur tid-area kurvan väljs ut i MIKE+ beroende på värdet av Area-50/Area. . . . .	21
6	De valda designregnen från mätningen i Stockholm som kommer användas i kalibreringen. . . . .	28
7	De valda designregnen från mätningen i Åstorp tätort som kommer användas i kalibreringen. . . . .	29
8	De valda designregnen från mätningen i Kvidinge tätort som kommer användas i kalibreringen. . . . .	29
9	De valda designregnen från mätningen i Hyllinge tätort som kommer användas i kalibreringen. . . . .	30
10	Valda värden för avrinningskoefficienter för olika marktyper vid beräkning av hårdgjord yta. . . . .	33
11	Hur väl modellen svarade bedömt med $R^2$ , beroende på vilken metod koncentrationstiden beräknats med. . . . .	34
12	Visar valda parametrar för varje designregn utifrån tid-area metoden, för Sköndal Stockholm. . . . .	38
13	Visar resultatet över kalibreringen i måtten $R^2$ samt volymfel tillsammans med en bedömning utifrån Stockholm Vattens statistikunderlag. . . . .	38
14	Visar valda parametrar för varje designregn utifrån tid-area metoden i Åstorp tätort. . . . .	41
15	Visar resultatet över kalibreringen för Åstorp tätort i måtten $R^2$ samt volymfel tillsammans med en bedömning utifrån Stockholm Vattens statistikunderlag. . . . .	42
16	Visar valda parametrar för varje designregn utifrån tid-area metoden, för Hyllinge tätort. . . . .	46
17	Visar resultatet över kalibreringen för Hyllinge tätort i måtten $R^2$ samt volymfel tillsammans med en bedömning utifrån Stockholm Vattens statistikunderlag. . . . .	46
18	Visar valda parametrar för varje designregn utifrån tid-area metoden, för Kvidinge tätort. . . . .	48

19	Visar resultatet över kalibreringen för Kvidinge tätort i måtten $R^2$ samt volymfel tillsammans med en bedömning utifrån Stockholm Vattens statistikunderlag. . . . .	49
20	Visar förhållandet mellan total area, reducerad area samt andel reducerad area för samtliga kalibrerade områden. . . . .	52

## Figurer

1	Ett intensitet-varaktighets diagram som visar hur ett nederbördsevents intensitet och varaktighet bestämmer återkomsttiden. . . . .	4
2	Dagvattensystemet i Stockholm med kombinerat nät (rosa i figur) och duplicerat nät (grönt i figur) (Stockholm Vatten och Avfall, 2019).	5
3	Fyra olika typer av hydrauliska modeller med ökande komplexitet från A till D. A beskriver ett rörsystem som belastas med ett flöde, B belastas med flöde från nederbörd, C innehåller även ett grundvattenmagasin och i D finns möjlighet att simulera en marköversvämning (Blomquist m. fl., 2016). . . . .	6
4	Två grafer som visar hur flödestoppens utseende varierar beroende på koncentrationstiden (a) och val av tid-area kurva (b). (Blomquist m. fl., 2016). . . . .	15
5	Satellitbild över det område som ska kalibreras i Sköndal, Stockholm.	22
6	Åstorp kommun inringat med svart linje. Tätorten Hyllinge ses i väst, Åstorp i mitten och Kvidinge i öst. . . . .	23
7	Satellitbilder över Åstorp kommun där de kalibrerade områdena ingår.	24
8	Hur markanvändningen såg ut för de studerade områdena. Rosa symboliserar byggnader, gul symboliserar odlad mark, ljusgrön symboliserar öppen mark, mörkgrön symboliserar skog och gråa streck symboliserar gator och vägar. . . . .	33
9	Sköndals fyra kalibrerade regntillfällen där blå linje visar uppmätt flöde och grön linje visar beräknat flöde. . . . .	39
10	Hur reduktionsfaktorn varierar med återkomsttid för de kalibrerade regnen i Sköndal, Stockholm. Skiljelinjen särskiljer reduktionsfaktorerna mellan de små och de stora regnen och påvisar därmed att de regn med längre återkomsttid även har högre reduktionsfaktorer	40
11	Åstorps fem kalibrerade regntillfällen för mätpunkt 1 där blå linje visar uppmätt flöde och grön linje visar beräknat flöde. . . . .	43
12	Åstorps fem kalibrerade regntillfällen för mätpunkt 2 där blå linje visar uppmätt flöde och grön linje visar beräknat flöde. . . . .	44
13	Hur reduktionsfaktorn varierar med återkomsttid för de kalibrerade regnen i Åstorp tätort. Skiljelinjen särskiljer reduktionsfaktorerna mellan de små och de stora regnen och påvisar därmed att de regn med längre återkomsttid även har högre reduktionsfaktorer. . . . .	45
14	Hyllinges fem kalibrerade regntillfällen där blå linje visar uppmätt flöde och grön linje visar beräknat flöde. . . . .	47

15	Hur reduktionsfaktorn för de fem kalibrerade regnen i Hyllinge tätort varierar med återkomsttid. Skiljelinjen särskiljer reduktionsfaktorerna mellan de små och de stora regnen och påvisar därmed att de regn med längre återkomsttid även har högre reduktionsfaktorer. . .	48
16	Kvidinges fem kalibrerade regntillfällen där blå linje visar uppmätt flöde och grön linje visar beräknat flöde. . . . .	50
17	Hur reduktionsfaktorn för de fem kalibrerade regnen i Kvidinge tätort varierar med återkomsttid. Skiljelinjen särskiljer reduktionsfaktorerna mellan de små och de stora regnen och påvisar därmed att de regn med längre återkomsttid även har högre reduktionsfaktorer. . . . .	51
18	Hur reduktionsfaktorerna för samtliga kalibrerade designregn varierar med återkomsttid. . . . .	51

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Att skyfall blir allt vanligare och allt mer intensiva i Sverige på grund av klimatförändringarna (SMHI, 2023a) är ett faktum. Och även om vatten är ett livsviktigt behov på många sätt, så kan det också orsaka stora problem när det kommer mycket på en gång. Det kan speciellt ses i städer, där de permeabla ytorna, det vill säga de ytor där vatten kan infiltrera, blir färre och färre, medan de impermeabla ytorna ökar. Möjligheten för vattnet att infiltrera i marken minskar därmed i städer, vilket ökar trycket på våra ledningsnät som hanterar regnvattnet och de behöver ofta hantera mer vatten än vad de har kapacitet för. I Sverige är ledningsnäten dimensionerade för nederbörder med max 10 år som återkomsttid (Miljöbarometern, Stockholms stad, 2023). Vid intensivare skyfall, det vill säga skyfall med längre återkomsttid, finns risken att kapaciteten på ledningsnäten överstigs vilket kan leda till översvämningar. Översvämningar i städer leder bland annat till påverkan på byggnader och samhällsviktig verksamhet (MSB, 2017). För att få en översikt över översvämningarna kan modeller användas, till exempel skyfallsmodeller och ledningsnätmodeller. Det är ett sätt att se var översvämningarna kommer ske och vilka vattenmängder det handlar om. På så sätt kan också rätt åtgärder utföras för att minska översvämningarna och de konsekvenser de ger upphov till.

För att få en verklighetstrogen bild av översvämningen är det viktigt att modellerna överensstämmer med verkligheten i största möjliga mån. På så sätt är det enklare att dra slutsatser kring vilka åtgärder som krävs för att reducera översvämningarna. För att veta hur mycket vatten som kommer bidra till översvämning behövs information om hur mycket vatten som kommer till ledningsnäten vid ett regn. Då behövs bland annat kunskap om hur mycket av nederbörden som infiltreras av marken och hur mycket avrinning som sker till ledningsnäten. Andel avrinning till ledningsnäten är en stor del av flödena i rören, och därmed är avrinning en viktig aspekt i modellerna. Avrinningen från ett regn är en vanlig felkälla i modellerna då det är svårt att veta korrekt andel av en nederbörd som blir avrinning samt när den avrinningen kommer till ledningsnäten (K. Beven, 2012). Genom att få mer exakt information om avrinningen kan felkällorna i modellerna minskas och en bättre förståelse för och överblick över översvämningarnas konsekvenser kan fås. Hydrauliska modeller används inte bara i syfte att minska översvämningar och dess konsekvenser utan även för att exempelvis se hur föroreningar rör sig samt vid dimensionering och bräddning av ledningsnätet (von Scherling m. fl., 2020).

## 1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att utreda hur avrinningen till ledningsnäten, och därmed även markinfiltrationen, ändras beroende på vilken återkomsttid nederbörden har. Ledningsnätsmodeller kalibreras ofta utifrån små nederbörder, och därför är det av intresse att undersöka hur avrinningen påverkas av mer intensiva nederbörder. På så sätt kan avrinningen, som representeras av parametern avrinningskoefficienten i modeller, bli mer precis. Kalibreringen kommer ske i programvaran MIKE +, från Dansk Hydrologisk Insitut (DHI), och examensarbetet ämnar svara på frågeställningarna:

- Hur ser processen för kalibrering av ledningsnätsmodeller i Sverige ut?
- Hur påverkar storleken på den hårdgjorda ytan avrinningskoefficienterna?
- Hur skiljer sig avrinningskoefficienten beroende på vilken återkomsttid nederbörden har?

### 1.2.1 Avgränsningar

För att respektera tidsbegränsningen i arbetet kommer endast ett område i Stockholm, Sköndal, undersökas tillsammans med tre tätorter i Skåne; Åstorp, Hyllinge och Kvidinge. Vidare så har endast nederbörds- och flödesmätningar från sommaren 2023 använts.

## 2 Teori

### 2.1 Grundläggande begrepp

I denna delsektion kommer två centrala och grundläggande begrepp förklaras: skyfall och återkomsttid.

#### 2.1.1 Skyfall

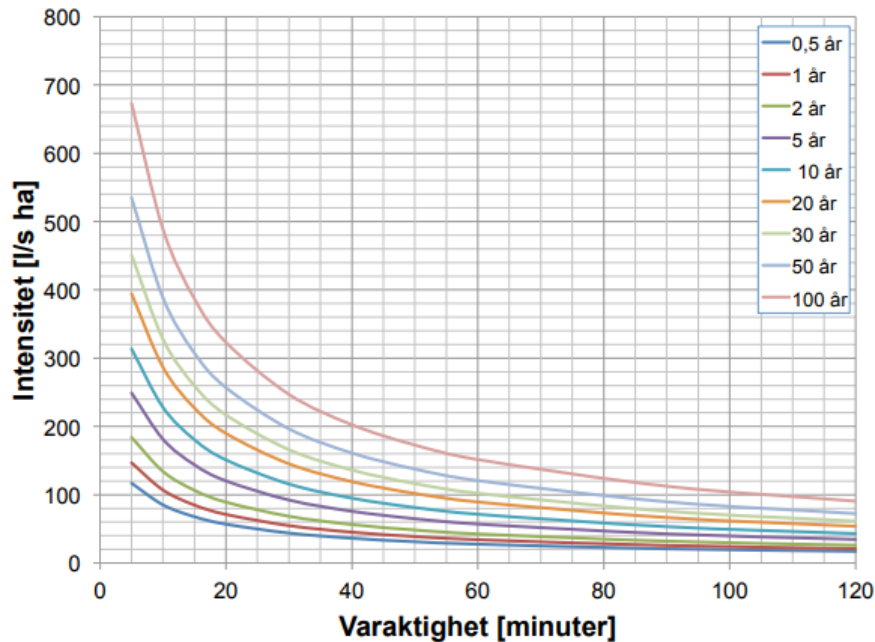
Skyfall innebär att en stor mängd nederbörd faller under en kort tid. Exakt definition finns det olika varianter på. SMHI (2023b), definierar ett skyfall som ett nederbördsevent där det regnar minst 50 mm på en timme eller minst 1 mm på en minut”. Här är det alltså endast mängden regn som faller som är relevant, inte hur väl det tas emot när det når marken. Salomonsson m. fl. (2017), definierar istället skyfall som nederbörd som är större än vad de allmänna dagvattenledningarna är avsedda att ta hand om”. Eftersom man i Sverige dimensionerat att ledningsnätet ska klara en nederbörd med intensiteten som motsvarar ett 10-årsregn, kommer alltså nederbörder med längre återkomsttid enligt Salomonsson m. fl. (2017) definition vara skyfall och eventuellt ge upphov till översvämningar. De båda definitionerna fokuserar på mängden nederbörd som faller samt under vilket tidsspann. Att få med båda kriterierna är av relevans eftersom ett väldigt kort intensivt regn ofta som helhet kan infiltreras i marken, medan ett längre intensivt regn även påverkar ledningsnäten (Svenskt vatten, 2018). Begreppet återkomsttid har därmed arbetats fram för att ta hänsyn till båda kriterier.

#### 2.1.2 Återkomsttid

Som tidigare nämnts så ämnar denna rapport undersöka hur avrinningskoefficienten påverkas av nederbördens återkomsttid. Vilken återkomsttid en nederbörd har beror bland annat på nederbördens volym samt varaktighet. Till exempel så kommer ett regn av en viss intensitet och varaktighet som i genomsnitt inträffar en gång under en tioårsperiod att kallas ett 10-årsregn. Ett 100-årsregn har istället en sannolikhet att inträffa i genomsnitt en gång under en period på 100 år, och har då alltså en högre intensitet än ett 10-årsregn. Vilken intensitet ett regn har beror i sin tur på regnets längd och mängd nederbörd som faller. För att illustrera hur regnen ser ut för de olika återkomsttiderna används intensitet-varaktighetsdiagram, också kallat IDF-kurvor vilket står för Intensity, Duration och Frequency. Ett sådant diagram kan ses i figur 1 där det illustreras hur återkomsttiden beror på nederbördens intensitet samt varaktighet. Två regn med samma intensitet kan alltså ha olika återkomsttider beroende på hur länge regnen varar. Kurvorna har gjorts med hjälp av nederbördsstatistik, det vill säga historiska nederbördsevent,



och har därmed en viss osäkerhet. Eftersom regn med stora återkomsttider inte är lika vanliga är statistikunderlaget här mindre (Svenskt vatten, 2018).



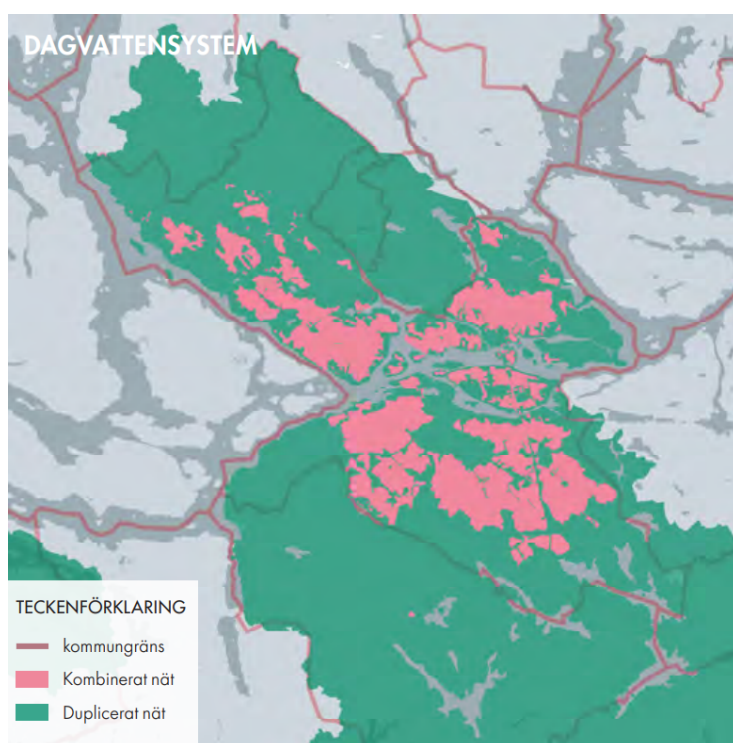
Figur 1: Ett intensitet-varaktighets diagram som visar hur ett nederbördsevents intensitet och varaktighet bestämmer återkomsttiden.

Återkomsttider är vanliga att använda vid dimensionering för att veta vilket typ av flöde en viss konstruktion ska klara av. Vilken återkomsttid som väljs att dimensionera för beror på konsekvenserna av att återkomsttiden överträffas, och kostnaden av konsekvenserna (SMHI, 2021). Sannolikheten att ett regn med en viss återkomsttid ska inträffa varje år är  $1/T$ , där  $T$  är återkomsttiden (MSB, 2017). Eftersom skyfallen beräknas bli mer intensiva i Europa på grund av det föränderliga klimatet (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, 2023) kommer de intensiteter vi förknippar med vissa återkomsttider idag att förändras. Ett 100-årsregn som idag definieras med en viss intensitet och varaktighet kommer därmed ha en större sannolikhet att inträffa i framtiden än i genomsnitt en gång vart hundra år.

## 2.2 Ledningsnät och dess modeller

Ledningsnät är det nätverk där avloppsvattnet och dagvattnet färdas på väg mot reningsverken. Hur ledningsnäten har sett ut genom historien har varierat och systemet har i Sverige byggts ut och byggts om i över hundra år. Till en början användes framförallt kombinerade system, vilket är när spill-, dag- och dränvattnet

tillsammans leds till reningsverken. Då det snabbt blev översvämningar med detta system började man på 1950-talet att utveckla det kombinerade systemet genom att lägga till ett bräddavlopp. Bräddavlopp innebär att vid höga vattenflöden kan vattnet orenat gå direkt till recipienten. Utöver detta byggdes också separatsystem, vilket är när spillvatten och dränvatten från husgrunder leds tillsammans medan dagvattnet avleds i diken. Numera är duplikatsystem vanligast i Sverige vilket är när spillvattnet och dagvattnet går i separata ledningar och dränvattnet kopplas på en av dessa ledningar (Svenskt vatten, 2019). Ett exempel på andel kombinerade respektive duplicerade ledningar kan ses i figur 2 där det visas att i Stockholm är ledningar byggda innan 1950 kombinerade, och nyare ledningar är duplicerade (Stockholm Vatten och Avfall, 2019).

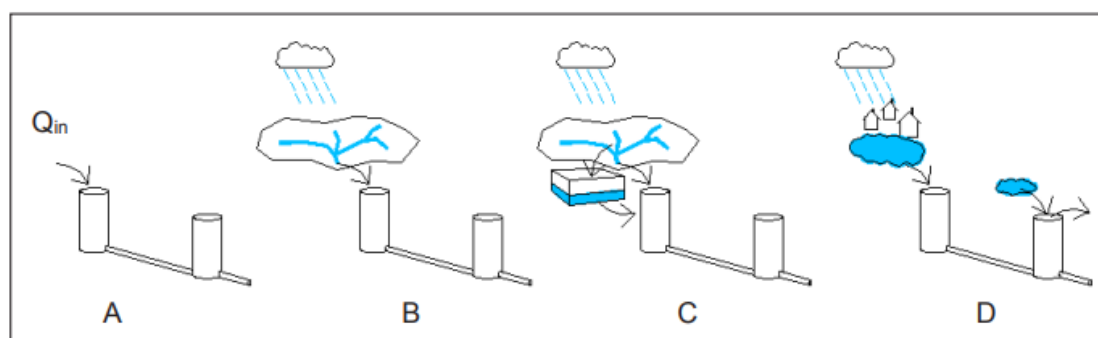


Figur 2: Dagvattensystemet i Stockholm med kombinerat nät (rosa i figur) och duplicerat nät (grönt i figur) (Stockholm Vatten och Avfall, 2019).

## 2.2.1 Ledningsnättsmodeller

För att försöka beskriva de verkliga förhållandena och kapaciteten i ledningsnäten används ledningsnättsmodeller. Modeller är alltid en förenklad bild av verkligheten och kan användas för att till exempel synliggöra effekten av en exploatering eller förnyelse på ledningsnätet för olika intressenter. Genom att simulera systemet kan brister hittas och olika slutsatser dras innan en åtgärd utförs (Blomquist m. fl., 2016). De hydrauliska modeller som används är lokala och skapades för olika delar av Stockholm under 2003-2007 (Stockholm Vatten och Avfall, 2015). I takt med att befintliga områden byggs om och nya områden skapas uppdateras modellen för att vara aktuell.

Hur ledningsnättsmodeller är uppbyggda och hur avancerade de är varierar stort. Det beror dels på vad modellerna ska användas till, vilken omgivning de beskriver samt vilken nederbörd de belastas av. Det vanligaste i modellerna är att ett nätverk av rör byggs upp som sedan belastas med olika flöden. Rören som återfinns i modellerna är utöver ledningarna även diken, kanaler och naturliga vattendrag. I nätverket finns också brunnar, avgreningar, magasin med fler, vilket beskrivs i modellerna som noder (Blomquist m. fl., 2016). Utöver detta finns även andra hydrauliska element så som fördämningar, mynningar och pumpstationer (DHI, 2023a). I Svenskt vattens (2016) rapport om riktlinjer för modellering av ledningsnäten beskrivs fyra olika typer av hydrauliska modeller, se figur 3. Som syns i figuren är A en simpel variant av en modell medan D är en mer avancerad variant. A beskriver ett rörsystem som belastas med ett flöde  $Q_{in}$ , B belastas med ett flöde från nederbörd, C har även ett jord- och grundvattenmagasin och D har möjligheten att simulera marköversvämning.



Figur 3: Fyra olika typer av hydrauliska modeller med ökande komplexitet från A till D. A beskriver ett rörsystem som belastas med ett flöde, B belastas med flöde från nederbörd, C innehåller även ett grundvattenmagasin och i D finns möjlighet att simulera en marköversvämning (Blomquist m. fl., 2016).

### 2.2.2 Avrinningsområde

Modeller som belastas med ett flöde från nederbörd kan sägas ha ett eller flera avrinningsområden. Det är det område ovan mark som bidrar med flöde i den del av ledningsnätet som ska studeras. Avrinningsområden beskrivs i MIKE+ som catchments, hydrologiska enheter formade som polygoner. De brunnar, eller noder som de betecknas i modellen, som återfinns i avrinningsområdet tar alltså emot den nederbörd som faller på området och som inte försvinner i infiltration eller andra processer (DHI, 2023a). Ett avrinningsområde kan bestämmas på ett flertal olika sätt och kräver en mängd indata. Ofta bestäms området utifrån höjddata vilket fås från digitala kartor eller papperskartor. Även flödesmätningar behövs för att se hur vattnet rinner (Blomquist m. fl., 2016). Generellt sätt så avdelas avrinningsområden även vid varje mätpunkt, magasin, pumpstation eller annan punkt som på olika rätt reglerar hur flödet rinner (Larsson, 2010), men ett flertal noder kan också återfinnas i ett och samma avrinningsområde.

Flödet från nederbörd är ofta en stor andel av flödet i ledningsnätet varvid det är viktigt att få det rätt i modelleringen. För att veta vilken andel av nederbörden i avrinningsområdet som kommer belasta ledningsnätet, behöver man veta hur stor avrinningskoefficienten är.

### 2.2.3 Avrinningskoefficienten $\varphi$

Avrinningskoefficienten,  $\varphi$ , beskriver hur stor andel av nederbörden som når ledningsnätet efter förluster från markinfiltration, avdunstning, absorption från växtlighet eller genom att vattnet stannat i olika ojämnheter i marken (Svenskt vatten, 2019). Därav har den ett värde mellan 0 till 1 där 0 innebär ingen avrinning, det vill säga inget når ledningsnätet, medan 1 innebär att allt avrinns till ledningsnätet. Vilket värde koefficienten får beror på andel hårdgjord yta, områdets lutning och regnintensitet. Desto mer området lutar och desto intensivare nederbörden är, desto mer avrinning får vi vilket leder till en större avrinningskoefficient. Koefficienten bestäms genom att beräkna andel hårdgjord areal i området vilket normalt beräknas på tre olika sätt i Sverige (Blomquist m. fl., 2016):

- Genom kalibrering mot flödesmätningar
- Genom olika bebyggelse typer
- Genom typ av yta

Vid användning av första metoden behövs tillförlitlig mätdata, att bebyggelsen i området är enhetlig och att ledningsnätet är homogent i antingen kombinerat

eller duplicerat nät. Alternativ två är att beräkna andel hårdgjord yta genom bebyggelse typer i området vilka beskrivs genom standardvärden från Svenskt vatten (2019) i tabell 1. Denna metod funkar bra om kunskapen om markförhålladerna är bristfällig till skillnad från kunskapen om bebyggelse typerna, vilket kan ske vid områden där det ska byggas nytt.

Bebyggelse typ	$\varphi$ , flack mark	$\varphi$ , kuperad mark
Slutet byggnadssätt, ingen vegetation	0,7	0,9
Slutet byggnadssätt med planterade gårdar, industri- och skolområden	0,5	0,7
Öppet byggnadssätt (flerfamiljshus)	0,4	0,6
Radhus, kedjehus	0,4	0,6
Villor, tomter <1000 $m^2$	0,35	0,45
Villor, tomter >100 $m^2$	0,2	0,3

Tabell 1: Standardvärden för avrinningskoefficienten för olika bebyggelse typer vid kortvariga regn (Svenskt vatten, 2019).

Tredje metoden går ut på att bestämma arean utifrån typ av yta. Denna metod är av intresse om ett avrinningsområde består av ett flertal olika marktyper. Då kan en sammanvägd avrinningskoefficient beräknas enligt ekvation 1 (Svenskt vatten, 2019).

$$\varphi = \frac{A_1 \cdot \varphi_1 + A_2 \cdot \varphi_2 + \dots + A_n \cdot \varphi_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (1)$$

där  $\varphi_n$  är avrinningskoefficienten för delområde n och  $A_n$  är arean av delområde n.

Beroende på andel hårdgjord yta i ett avrinningsområde får alltså avrinningskoefficienten olika värden. Svenskt Vatten (2016) har i sin publikation P110 tagit fram ett standardvärde för koefficienten för 9 olika marktyper vid dimensionerande kortvariga regn, se tabell 2. Värdena gäller för mark med måttlig lutning.

Tabell 2: Standardvärden för avrinningskoefficienten för olika marktyper vid kortvariga regn (Svenskt vatten, 2019).

Typ av yta	Avrinningskoefficient
Tak utan ytmagasin	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

Värdena i tabell 1 och 2 är de standardvärden som används vid kortvariga regn, däremot så har erfarenhet påvisat att de ofta är för höga (Larsson, 2010). Det är till viss del för att dimensionera i överkant och på så sätt ha en säkerhetsmarginal, men ofta behöver avrinningskoefficienten dras ner vid kalibrering av modellen. Svenskt vatten (2019) anser som tidigare nämnt att avrinningskoefficienten beror på andel hårdgjord yta, områdets lutning och regnintensitet. Trots att den alltså beror på regnintensiteten så finns det bara ett värde att tillgå för en regnintensitet. Larsson (2010) hävdar också att den beror på vilken metod som används när koefficienten ska bestämmas. Därmed är den beroende av många parametrar vilket försvårar arbetet med att få den exakt i modeller. Ofta krävs tidskrävande kalibrering vilket normalt görs för små regn då det är dem som framförallt syns till vardagen. Det finns alltså inga färdiga värden för avrinningskoefficienten vid nederbörder med längre återkomsttid.



## 3 Kalibrering

För att få modellen mer lik ett verkligt scenario behöver den kalibreras mot uppmätta värden. Detta kan ske på olika sätt beroende på vilka flöden som belastar ledningsnätet samt vad modellen ska användas till. Det generella tillvägagångssättet är att jämföra modellens beräknade flöden med de uppmätta flödena och därefter justera en del av modellens parametrar för att få så lika värden mellan beräknade och uppmätta flöden som möjligt. Varje gång en parameter ändras körs modellen vilket kallas för att en simulering körs. Eftersom endast ett regnevent simuleras åt gången behöver en ny simulering skapas för varje sådant event där datum och tid specificeras för flödets start och slut. Eftersom flödet är något förskjutet i tid jämfört med regnet blir tiderna något annorlunda. Blomquist m. fl. (2016) och Granlund och Nilsson (2000) har modelleringsriktlinjer som följs vid modellering i Sverige. Syftet med riktlinjerna är att kunna utgå ifrån en gemensam grund vid modellering för att kunna kvalitetssäkra samt effektivisera arbetet. Rapporten från Svenskt Vatten (2016) innehåller även riktlinjer för kalibrering då det är en del i modelleringsarbetet. Kalibreringsriktlinjerna kommer redovisas i denna sektion.

### 3.1 Arbetsgång vid kalibrering

Arbetsmetodikerna vid kalibrering av en modell som belastas med nederbördsflöden kan sammanfattas i följande fem steg (Blomquist m. fl., 2016):

- Kontrollera att mängden regn de olika regnmätarna registrerat inte skiljer sig markant i volym över tid
- Välj ut minst 3-5 lämpliga kalibreringsregn
- Kalibrera in volym och form på flödestoppen vid regn
- Kalibrera in nivå
- Kontrollera och eventuellt kalibrera flödet igen om nivåkalibreringen påverkat flödet

För att veta hur mycket regn som kommer belasta modellen behövs minst två regnmätare i området. Det är viktigt att kontrollera att de visar överensstämmande värden. Om en av regnmätarna visar avvikande eller orimliga värden bör den uteslutas för att inte belasta modellen med fel flöde. Därefter ska 3-5 kalibreringsregn väljas ut från mätperioden. De utvalda uppmätta regnen kommer sedan användas för att kalibrera modellen.



När designregnen valts ut är det dags att börja kalibrera modellen så flödestoppen blir rätt, det vill säga volymen när flödet är som störst. Flödet kalibreras från uppströms i avrinningsområdet till nedströms. Detta är för att flödena uppströms påverkar flödena nedströms, och inte tvärt om. För att få flödestoppen rätt behöver man beskriva avrinningen från hårdgjorda ytor på rätt sätt, då det avgör hur stor andel av regnet som når ledningsnäten. När flödet har kalibrerats färdigt behöver nivån kalibreras. Nivån är alltså vattennivån i ledningsnäten. Generellt så är det ingen större skillnad på uppmätt och kalkylerad nivå vid basflöden. Är det en skillnad så kan ledningens råhet ändras för att jämna ut skillnaderna. Eftersom kalibrering av nivån normalt inte påverkar avrinningskoefficienten kommer det inte utföras i detta arbete.

### 3.2 Kalibreringsmetoder för avrinning från hårdgjorda ytor

Hur man beskriver avrinningen från hårdgjorda ytor i ledningsnätmodeller kan ske på ett flertal sätt. Den vanligast använda metoden i Sverige är tid-area-metoden där en tid-area kurva visar hur stor andel av arean som bidrar med tillrinning till modellen vid en viss tidpunkt (Blomquist m. fl., 2016). Avrinningen bestäms av initialförlusten, storlek på den reducerade arean och övriga hydrologiska förluster. När regndjupet överskrider den givna initiala förlusten påbörjas avrinningen. Varje tid-area kurva gäller för en viss regnintensitet och skapas genom att man delar in det reducerade avrinningsområdet i mindre områden, eller celler, där varje cell innehåller en beräkningspunkt. En tid-area kurva över avrinningen till varje sådan punkt beräknas därefter för varje cell innan de summeras för att få resultatet för hela området (Arnell, 1980). Hur många celler,  $n$ , området delas in i beror på koncentrationstiden  $t_c$  samt tidssteget  $\Delta t$  enligt ekvation (2) (DHI, 2017b). Tid-area kurvan för varje delområde beräknas med hjälp av koncentrationstiden samt ansluten hårdgjord yta. För varje tidssteg  $\Delta t$  kommer den ackumulerade volymen av avrinningen i en viss cell förflyttas till cellen nedströms. Utflödet från den cell som är längst nedströms i området blir därmed den resulterande avrinningshydrografen (DHI, 2017b).

$$n = \frac{t_c}{\Delta t} \quad (2)$$

Eftersom det är tid-area metoden som kommer användas i detta arbete är det den enda metod som kommer presenteras. De parametrar som kalibreras med tid-area-metoden redovisas nedan i delstycke 3.2.1 till 3.2.4, med sjunkande påverkan på resultatet per delstycke.

### 3.2.1 Hårdgjord yta

Ansluten hårdgjord yta anses mest väsentlig då den avgör hur stor volym som rinner till ledningsnäten vid ett nederbördstillfälle. Den påverkar alltså höjden på flödestoppen. Den beräknas i programvaran MIKE+ genom ekvation (3).

$$\text{Ansluten hårdgjord yta} = \text{Reducerad area} = \varphi \cdot A \quad (3)$$

där  $A$  är avrinningsområdets verkliga area [ $m^2$ ] och  $\varphi$  är den sammanvägda avrinningskoefficienten [%].

Arean multiplicerat med den sammanvägda avrinningskoefficienten blir den reducerade arean, vilket med andra ord kan beskrivas som den teoretiskt beräknade hårdgjorda ytan. Detta multipliceras därefter med en kalibrerad reduktionsfaktor för att överensstämna med uppmätta värden. De tre parametrarna area, sammanvägd avrinningskoefficient och reduktionsfaktor kan vid kalibrering ändras en och en eller i kombination. Om den totala arean och den sammanvägda avrinningskoefficienten tros vara korrekt bedömda så är det normalt sett reduktionsfaktorn som ändras. Reduktionsfaktorn är ett värde mellan 0 till 1 där en reduktionsfaktor med värde 0,5 betyder att avrinningskoefficienten är 50 % av det teoretiskt beräknade värdet. Genom att endast ändra reduktionsfaktorn syns det tydligt hur den reducerade arean har ändrats jämfört med början.

### 3.2.2 Koncentrationstid

Som kan ses i figur 4a så påverkas flödestoppens bredd och amplitud beroende på val av koncentrationstid. Koncentrationstiden kan definieras som den längsta rinntiden i avrinningsområdet, alltså den tid det tar för regnet att ta sig från den mest avlägsna platsen i området till ledningsnätet (K. J. Beven, 2020). Därför påverkas den bland annat av andel hårdgjord yta. En större andel hårdgjord yta bidrar till snabbare avrinning och därmed också en kortare koncentrationstid. En kortare koncentrationstid gör därför att flödestoppen blir smalare och högre, det vill säga pågår under kortare tid, vilket också kan ses i figur 4a. Koncentrationstiden beräknas i Sverige vanligtvis genom P110-metoden eller en erfarenhetsbaserad metod. P110-metoden använder sig av den längsta längden vattnet behöver ta sig i avrinningsområdet och multiplicerar det med flödets hastighet. Vilken hastighet flödet kan antas ha kan ses i tabell 3 (Blomquist m. fl., 2016).

Tabell 3: Förslag på olika flödes hastigheter (Blomquist m. fl., 2016).

Ledning i allmänhet	1,5 m/s
Tunnel och större ledning	1 m/s
Dike och rännsten	0,5 m/s
Markyta	0,1 m/s

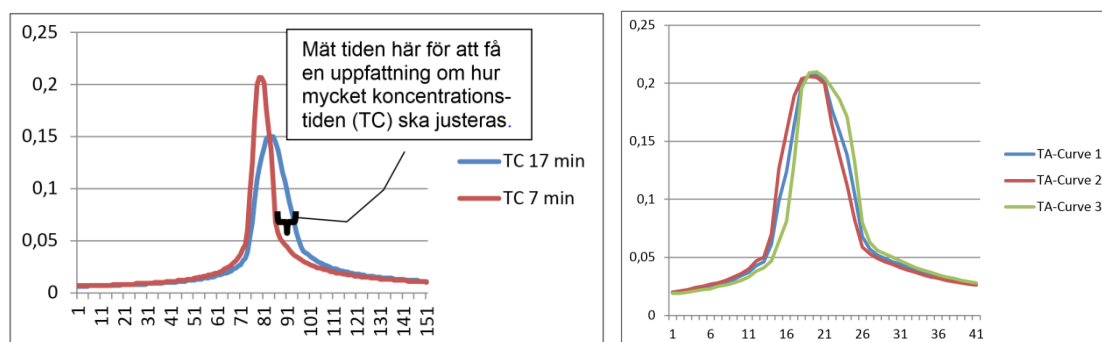
Den erfarenhetsbaserade metoden är vanligare att använda när en modell ska kalibreras. P110-metoden underskattar ofta koncentrationstiden vilket gör att regnet avrinner till ledningsnätet fortare än vad det gör i verkligheten. Detta kan vara av vikt när modellen inte ska kalibreras och man därmed vill säkerställa att flödestoppen inte underskattas. Ekvationen för den erfarenhetsbaserade metoden kan ses i ekvation 4. De antaganden som görs är att flödets hastighet i genomsnitt är 0,5 m/s, det är en uppstartstid på 5 minuter innan vattnet börjar flöda och vattnet tar inte den kortaste vägen genom området (Blomquist m. fl., 2016).

$$t_c = 5 + \frac{3 \cdot \sqrt{A}}{60} \quad (4)$$

där  $t_c$  är koncentrationstiden [ $min$ ] och  $A$  är avrinningsområdets area [ $m^2$ ].

### 3.2.3 Tid-area kurva

Beroende på vilken tid-area kurva som väljs så kommer avrinningen ske olika snabbt. Även denna parameter påverkar flödestoppens utseende men i mindre utsträckning än vad koncentrationstiden gör. Ett exempel på hur flödestoppen kan se ut och hur den påverkas av ändrade parametrar visas i figur 4. Som kan ses i figur 4b så påverkas lutningen av flödestoppen beroende på vilken tid-area kurva som valts. De tre tid-area kurvorna TACurve1, TACurve2 och TACurve3 är tre förbestämda kurvor som finns i programvaran MIKE+ (DHI, 2017a). TACurve1 beskriver rektangulära avrinningsområden och ger därför en rak och jämn flödestopp. TACurve2 beskriver divergerande avrinningsområden, det vill säga områden där flödet sprids ut vilket kan ske på branta kullar exempelvis (Freeman, 1991). Detta ger en flödestopp som lutar åt vänster. TACurve3 beskriver konvergerande avrinningsområden, alltså områden där flöden går ihop, vilket ger en flödestopp som lutar åt höger. Då skillnaden är relativt liten mellan de olika kurvorna ändras inte alltid valet av tid-area kurva vid kalibrering.



(a) Visar hur flödestoppen ändras beroende på val av koncentrationstid. (b) Visar hur formen på flödestoppen ändras beroende på val av tid-area-kurva.

Figur 4: Två grafer som visar hur flödestoppens utseende varierar beroende på koncentrationstiden (a) och val av tid-area kurva (b). (Blomquist m. fl., 2016).

### 3.2.4 Initialförlust

Beskriver den del av nederbörden som inte bidrar med någon avrinning. Detta beror på att en del av flödet fastnar i ojämnheter i marken på hårdgjorda ytor utan att rinna vidare. Vid beräkning av större regn kan denna parameter ofta negligeras, men vid ett upprepat antal mindre regn så kan det påverka när den totala volymen ska beräknas. Initialförlusten sätts normalt till 0,6 mm (Blomquist m. fl., 2016).

## 3.3 Bedömning av kalibreringen

Hur väl modellens beräknade värden överensstämmer med de uppmätta värdena kan uttryckas i olika termer. Vanligtvis används  $R^2$ -värdet, volymfelet och nivåfelet när kalibreringen ska bedömas (Blomquist m. fl., 2016).  $R^2$ -värdet är vanligt förekommande i regressionsanalys och beräknar hur väl uppmätta tidsserier stämmer överens med beräknade tidsserier (Nagelkerke m. fl., 1991). Värdena för de beräknade tidsserierna är linjärt interpolerade att matcha de uppmätta tidsserierna (DHI, 2023c).  $R^2$ -värdet kan variera från  $-\infty$  till 1, där ett värde nära 1 på  $R^2$  indikerar en bättre överensstämmelse. Kalibrering av en modell kan alltså beskrivas som att försöka maximera  $R^2$ -värdet. Simuleringar över de olika nederbördsevenen kommer få olika resultat och genom att hitta ett linjärt samband mellan de uppmätta och beräknade punkterna med hjälp av linjär regression kan  $R^2$ -värdet beräknas, se ekvation (5) (DHI, 2023c).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - f_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (5)$$

där  $y_i$  beskriver det uppmätta flödet,  $f_i$  beskriver det beräknade flödet, och  $\bar{y}$  är medelvärdet av de uppmätta värdena.

Volymfelet anger det relativa felet mellan uppmätt ackumulerad volym och beräknar ackumulerad volym i ledningsnätet för ett regnevent. Enheten är procent. Volymfelet beräknas genom att beräkna skillnaden i procent mellan den ackumulerade volymen som registrerats i mätpunkten under ett regnevent, och den beräknade ackumulerade volymen. Se ekvation (6). Nivåfelet anger i millimeter skillnaden mellan uppmätt och beräknad nivå i ledningarna. Eftersom nivån inte kalibreras i detta arbete kommer det resultatet utebli och kalibreringen bedöms enbart utifrån  $R^2$ -värdet och volymfelet.

$$Volymfel = \left| 1 - \frac{volym(y_2)}{volym(y_1)} \right| \cdot 100 \quad (6)$$

där  $y_1$  och  $y_2$  beskriver den beräknade respektive uppmätta volymen.

Enligt Blomquist m. fl. (2016) bedömer Stockholm Vatten en kalibrering, det vill säga hur väl de beräknade värdena stämmer överens med de beräknade, enligt tabell 4 nedan. Beroende på  $R^2$ -värde, volymfel och nivåfel kan kalibreringen alltså bedömas som mycket bra, ok eller dålig. De valda gränsvärdena i tabellen kommer från ett statistiskt underlag från Stockholm Vatten från flöden och nivåer som kalibrerats i olika områden. Det är alltså erfarenhetsbaserade gränser.

Tabell 4: Visar ett förslag på hur den färdiga kalibreringen kan bedömas.

Bedömning av kalibrering	$R^2$ -värde	Volymfel [%]	Nivåfel [mm]
Mycket bra	>0,85	± 5	± 10
Ok	0,7-0,85	± 10	± 20
Dålig	<0,7	± 20	± 50

### 3.4 Infiltration och avrinning i urban miljö

Hur mycket vatten som kan infiltrera genom marken är som sagt av betydande vikt när modellerna skapas då det ju även säger hur stor andel av nederbörden som istället blir avrinning och når och belastar ledningsnäten. Infiltrationen beror på typ av jordart, hur områdets topografi ser ut, vilken vattenmättnad marken har vid nederbördstillfället samt hur nederbörden ser ut (Skougaard Kaspersen m. fl., 2017). Enligt Xue och Gavin (2008), bidrar till exempel en nederbörd som börjar med hög intensitet och avslutas med en lägre intensitet med mindre avrinning än en nederbörd som istället börjar med en lägre intensitet och avslutas med en högre intensitet. Beroende på vilken återkomsttid nederbörden har så kommer olika mycket vatten bli till avrinning eftersom återkomsttiden beskriver regnets varaktighet men även intensitet. Även Guan m. fl. (2015) hävdar att avrinning i urbana områden till stor del påverkas av hur regnet ser ut. Hur stor andel av en nederbörd som infiltreras beror alltså på flera parametrar och är svår att få exakt. Blomquist m. fl. (2016), rekommenderar att tre till fem olika regn används vid kalibrering. På så sätt kan regn med olika karaktär testas för att se vilka värden parametrarna som beskriver avrinning ska ha. Normalt så kalibreras ledningsnätsmodeller ofta mot mindre regn då det är de som registrerats vid nederbördsräkning. Vid mindre regn så infiltrerar en stor del av nederbörden i marken genom grönytor samtidigt som en del fastnar i ojämnheter i marken. Erfarenhetsmässigt kalibreras avrinningskoefficienten därmed ofta som ett relativt lågt tal. När den färdigkalibrerade modellen sedan ska användas till ett större regn så finns det en risk att flödena underskattas då det vid större regn blir en större avrinning på grund av mättnad i marken. Därmed är det av intresse att undersöka dels om denna tes stämmer samt till vilken grad avrinningskoefficienten skiljer sig.

När avrinning i urbana områden studeras är det främst fokus på den snabba eller direkta nederbördspåverkan, det vill säga den direkta avrinningen från de anslutna hårdgjorda ytorna. Det är denna avrinning som tid-area metoden beskriver. Detta är dock inte den enda typen av tillskottsvatten som bidrar med avrinning till ledningsnäten. Ofta syns flödestoppar i mätdatan som är för stora för att endast beskrivas utifrån den snabba nederbördspåverkan. Det förklaras som det tillskottsvatten som definieras som långsam eller trög nederbördspåverkan och kan bidra med en flödeshöjning i mätpunkten i 1-3 dygn efter nederbörden (Clementson m. fl., 2020). Det är vatten som först infiltrerat genom marken innan det når ledningsnäten och består till exempel av husgrundsdräneringar. Det finns även grundvattenflöden som påverkar ledningsnäten. De påverkar inte flödestoppen på samma sätt utan bidrar istället med ett säsongsvarierat basflöde. Tillskottsvattnet som kommer från grundvattenflöden ingår ibland i definitionen för de flöden som bidrar med långsam nederbördspåverkan. Nederbördspåverkande flöden kan också

vara indirekta vilket är ett paraplybegrepp som beskriver de fördröjda flödena. Det är fortfarande bundet till nederbörd eftersom det uppstår strax efter, eller dygnet efter, och består av vatten som först infiltrerat genom marken innan det når ledningsnätet. Fördröjda flöden kan bland annat bero på grundvattenmagasin, snömagasin och rotmagasin (Gustafsson & Olsson, 1991). De kan alltså påverka uppmätta flöden under en längre tid efter ett nederbördsevent. De långsamma flödena kallas även för RDI-flöden, vilket står för rainfall dependent infiltration. Om en modell ska byggas över ett område som har mycket grundvatten som tränger in eller dräneringar, rekommenderas det att lägga till RDI. I Sverige är det vanligast att använda sig av RDI-modulen som finns i modelleringsprogrammet, exempelvis MIKE+ (Blomquist m. fl., 2016).

## 4 Metodik

I examensarbetet användes befintliga modeller över ledningsnätet i de områden som studerades. Inget i uppbyggnaden av modellen ändrades utan endast de parametrar som modifierades vid kalibreringen. Eftersom ledningsnätets utformning är sekretessbelagda kommer inga detaljer av de använda modellerna ingå i rapporten. Vidare kommer inte heller exakt plats för de studerade mätpunkterna visas. Följande kapitel innehåller en kort beskrivning av de material som använts för att utföra examensarbetet. Det är nederbörds- och flödesmätare, den använda programvaran, de studerade områdena samt de använda modellerna.

### 4.1 Nederbörds- och flödesmätning

För att få fram mätdata till kalibreringen användes flödesmätare och nederbörds-mätare. Flödesmätningen för SVOA mätte vattennivå [m], hastighet [m/s] och volymflöde [l/s] i ledningen i en nedstigningsbrunn. Vattennivån för SVOA mättes genom en trycksensor och luftultraljud medan hastigheten registrerades med hjälp av korskorrelationsteknik. Flödesmätningen för NSVA registrerade hastighet och nivå med 1 till 2 minuters intervall. Med hjälp av ledningarnas dimension kunde sedan flödet beräknas. Nederbörds-mätarna mätte nederbörden i enheten millimeter vilket också motsvarar antal liter per kvadratmeter. Den nederbörds-mätare som användes kallas tipping-bucket vilket är den vanligaste nederbörds-mätaren i världen (Wang m. fl., 2008). Nederbörden samlas upp i ett uppsamlingskärl och när 0,2 mm samlats upp tippas vattnet ut och det andra kärlet börjar fyllas. Samtidigt registreras tiden då kärlet fylldes och resultatet blir alltså ett mått på hur ofta det regnar 0,2 mm. Nederbörds- och flödesmätningen skedde under sommaren 2023 av AquaRosim på uppdrag från SVOA, samt Sweco på uppdrag från NSVA, för respektive modell. SVOAs nederbörds-mätning registrerade nederbörder från och med 18e juni till och med 15e augusti. NSVA registrerade nederbörder från och med 16e juni till och med 1a september. För att kunna belasta modellen med regnet behövde enheten omvandlas från *mm* till  $\mu\text{m}/\text{s}$ . Filformatet ändrades även från *xlsx* till *dfs0* vilket är ett filformat för tidsserier. De typer av tidsserier som användes var *mean step accumulated* samt *reverse mean step accumulated*, vilket innebär att värdena var ackumulerade över en viss tidsperiod och sedan dividerat med tidssteget (DHI, u.å.).

### 4.2 Programvaran MIKE+

Den befintliga modellen över Sköndal, Stockholm, var uppbyggd i MIKE Urban. Den konverterades sedan till MIKE+ som var den programvara som användes för kalibrering i examensarbetet via en studentlicens från DHI. Båda programvaror-



na kommer från DHI. Anledningen till varför kalibreringen skedde i MIKE+ är på grund av att MIKE Urban är en utdaterad programvara som inte längre uppdateras av DHI utan har istället blivit ersatt av MIKE+. Modellen över Åstorp kommun var gjord i MIKE+.

MIKE är samlingsnamnet för de program DHI erbjuder inom modellering, simulering och analysering av olika vattensystem. MIKE+ som används i detta arbete är ett av dem. MIKE+ är en programvara för modellering och design av systemen för vattenförsörjning, systemen för spillvatten och dagvatten, flodnätverk samt översvämningar. Programmet består av ett flertal moduler som beskriver de olika områdena. Huvudmoddulen kallas model manager och är en modellerings- och simuleringsverktyg som kan appliceras på alla övriga moduler (DHI, 2023b). De övriga moduler som använts i detta examensarbete är catchments och collection system networks. Tillsammans med catchments, vilket i denna rapport är översatt till avrinningsområden, så aktiverades även en undermodul kallad Rainfall-Runoff som kan simulera hydrologiska processer på de olika avrinningsområdena (DHI, 2023a).

Avrinningsområdena i programvaran innehåller olika attribut. Bland annat så kopplas en hydrologisk modell ihop med det aktuella avrinningsområdet för att beräkna den andel som inte blir till avrinning utan istället förloras till exempelvis infiltration i marken. MIKE+ innehåller ett flertal hydrologiska modeller, bland annat tid-area metoden som valdes i denna rapport. Parametrarna i tid-area metoden kan ställas in genom användarspecifika värden, eller så kan de beräknas i MIKE+. När koncentrationstiden ska beräknas så hittas först det längsta avstånd från en nod i avrinningsområdet till kanten på området och sedan multipliceras detta avstånd med hastigheten för avrinningen (DHI, 2023c). Denna metod kallas också, som tidigare beskrivet, för P110-metoden. Koncentrationstiden kan också fyllas i själv för varje avrinningsområde om den erfarenhetsbaserade metoden önskas användas.

När koncentrationstiden beräknats kan tid-area kurvorna beräknas. Som tidigare beskrivet så finns det tre olika förbestämda tid-area kurvor att välja på i programmet; rectangular catchments, divergent catchments och convergent catchments (DHI, 2017a). Vilken kurva som passar varje avrinningsområde kan antingen ställas in av användaren och modifieras under kalibreringen, eller så kan det beräknas i programmet. MIKE+ beräknar vilken kurva som passar avrinningsområdet genom att först beräkna *Area-50*, vilket är den andel av avrinningsområdet som är inom räckhåll när hälften av koncentrationstiden gått. Denna andel delas därefter med avrinningsområdets totala area. Därefter väljs en av de tre tid-area kurvorna enligt

tabell 5 (DHI, 2023c).

Tabell 5: Tabell över hur tid-area kurvan väljs ut i MIKE+ beroende på värdet av Area-50/Area.

Area-50/Area	Val av tid-area kurva
0,00-0,37	TACurve3
0,38-0,60	TACurve1
0,60-1,00	TACurve2

Samtidigt som tid-area kurva och koncentrationstiden beräknas så beräknas också den hårdgjorda ytan. Det görs antingen genom ett användarspecifikt värde, alternativt så kan programmet beräkna avrinningskoefficienten genom ett viktat medelvärde av den hårdgjorda ytan för flera markpolygonlager (DHI, 2023c). De olika lagrena har olika markanvändningar, till exempel vägar och grönytor, där varje markanvändning har en andel för hur ogenomträngliga de är. Byggnader kan till exempel sättas till 0,95 vilket betyder att de till 95 % är ogenomträngliga.

## 4.3 Sköndal i Stockholm

### 4.3.1 Områdesbeskrivning

Stadsdelen Sköndal ligger i stadsområdet Söderort i Stockholm, vilket är södra Stockholm, och i en del kallad Drevern planeras bostäder, lokaler samt en förskola byggas år 2025 (Bygg och plantjänsten Stockholm stad, 2023). Som kan ses i figur 5 så består området av en del bostäder, vägar och parkeringar vilket bidrar med hårdgjord yta. Men även områden med skog och grönytor syns. Området antogs vara oförändrat under mätperioden. I området sattes två flödesmätare och en nederbördsmätare upp av SVOA under juni till augusti 2023. De regn flödesmätaren registrerade då, är de regn som kommer belasta den befintliga modellen för kalibrering.



Figur 5: Satellitbild över det område som ska kalibreras i Sköndal, Stockholm.

#### 4.3.2 Modellbeskrivning

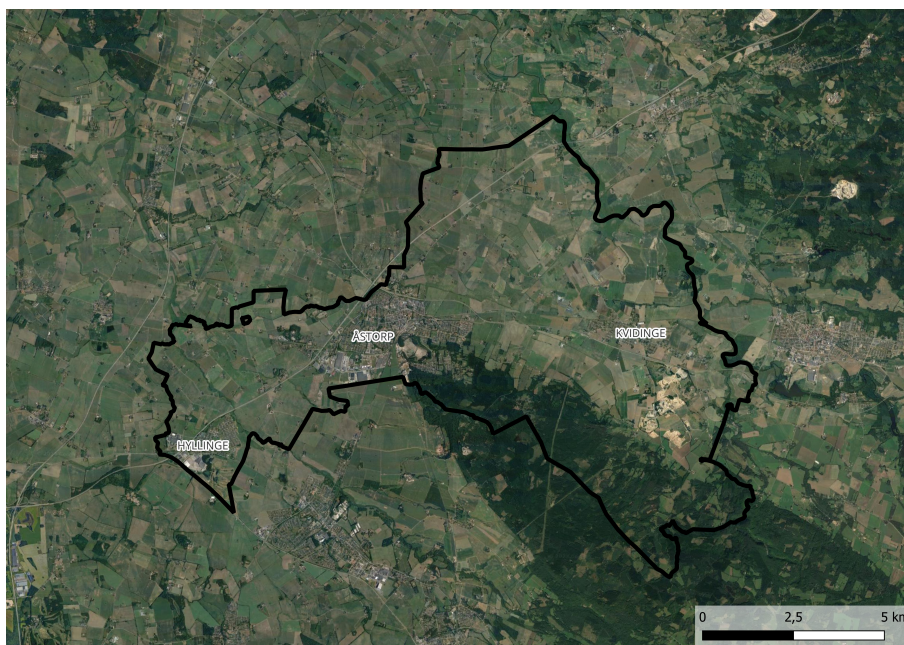
Den använda modellen har tidigare varit en hydraulisk spillvattenmodell som har kompletterats med dagvattenledningar, brunnar och övriga dagvattensystem. Den del i Sköndal som studerats, kallad Drevern, tillhör ett område där modellen kompletterats med dagvattensystem. Denna del har inte kalibrerats ännu och de uppmätta värdena från sommar 2023 kommer därför ligga till grund för den första kalibreringen.

Avrinningsområdena i modellen har definierats utifrån hur ledningsnätet utbreder sig. Även tidigare karterade dagvattenområden från SVOA har använts som underlag. I bebyggda områden har fastighetskartor använts för att se hur avrinningsområdena utbredd sig till en viss punkt på ledningsnätet. Avrinningskoefficienterna för olika typer av ytor har bedömts med hjälp av ett underlag på markanvändning karterat från ett markanvändningsraster. Detta har gjorts i enlighet med publikation P110 från Svenskt Vatten där avrinningskoefficienten bestäms beroende på typ av yta enligt tabell 2. En sammanvägd avrinningskoefficient har därefter beräknats för varje område med markanvändningen som utgångspunkt.

## 4.4 Åstorp kommun

### 4.4.1 Områdesbeskrivning

I Åstorp kommun har både flödesmätning och nederbörds­mätning skett under andra halvan av juni till och med första september 2023. Mätningen är gjord av NSVA, Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp AB. NSVA är ett kommunalt bolag som har hand om dricks-, avlopps- och dagvatten i ett flertal kommuner i nordvästra Skåne (NSVA, u.å.). Åstorp kommun ligger nordöst om Helsingborg och är därmed en del av NSVA. Mätningen har skett i tre olika tätorter i Åstorp kommun: Åstorp, Kvidinge och Hyllinge. Kommunens avgränsning kan ses i figur 6. Alla tätorter antogs ha oförändrade markförhållanden under mätperioden. Andel hårdgjord yta antogs alltså vara oförändrad.



Figur 6: Åstorp kommun inringat med svart linje. Tätorten Hyllinge ses i väst, Åstorp i mitten och Kvidinge i öst.

I Åstorp tätort har flödesmätningen skett i tre punkter tillsammans med en nederbörds­mätare. Endast två punkter av flödesmätningen användes i kalibreringen. I figur 7a kan man se att området består av bostadsområden med mycket öppna grönytor och omkringliggande åkrar. En del ytor med skog syns även. Därmed är det en relativt låg andel hårdgjord yta för att vara ett bebyggt område. I Kvidinge tätort, som ligger i östra Åstorp, har flödesmätningen skett i en punkt tillsammans med en nederbörds­mätare. Det studerade området kan ses i figur



7c vilket visar ett bostadsområde med en relativt stor andel grönytor runt omkring. Kvidinge är liksom Åstorp tätort omringat av åkrar. I Hyllinge, västra Åstorp, skedde flödesmätningen i två punkter och nederbörds-mätningen i två punkter. Däremot användes bara material för en mätpunkts flödesmätning och en punkts nederbörds-mätning. Området är mycket likt Kvidinge och Åstorp i sin markanvändning - bostadsområden med mycket öppna grönytor och omkringliggande åkrar och till viss del skog. Detta kan ses i figur 7b.



(a) Satellitbild över Åstorp tätort



(b) Satellitbild över Hyllinge tätort



(c) Satellitbild över Kvidinge tätort

Figur 7: Satellitbilder över Åstorp kommun där de kalibrerade områdena ingår.

#### 4.4.2 Modellbeskrivning

Modellen för de tre tätorterna i Åstorp kommun är gjord i MIKE+ av DHI på uppdrag av NSVA. Modellen är inte kalibrerad än men kommer göras i framtiden, därav är detta första gången modellen kalibreras. Syftet med modellen är att identifiera vilka områden som har risk för översvämning i Åstorp kommun. Det är en modell men med tre avgränsade ledningsnät. Regnen som mätts i de olika nederbördsmätaerna belastade endast de avrinningsområden som är kopplade till den aktuella mätpunkten. När modellen belastades med de olika designregnen för Hyllinge var det alltså endast flödesmätaren i Hyllinge som de kalibrerades mot, och regnet föll endast över de avrinningsområden som låg uppströms flödesmätaren. Avrinningsområdena i modellen har utformats utifrån dagvattensystemet och markanvändningslager. Utöver det har delavrinningsområden valts utifrån hur ledningsnätet är utformat. För att beräkna den reducerade arean, eller de teoretiskt beräknade hårdgjorda ytorna, användes olika markanvändningslager givna från Åstorp kommun.



## 5 Metod

I följande sektion beskrivs hur designregnen valdes ut, hur återkomsttiderna beräknades samt tillvägagångssättet för kalibreringen.

### 5.1 Val av designregn

För att välja ut de tre till fem designregn som rekommenderas att användas vid kalibrering så användes rådatan där nederbörds- och flödesmätarna registrerat regndjup och flöde bland annat. Eftersom syftet med examensarbetet är att undersöka hur avrinningskoefficienten varierar med olika återkomsttider, och mindre regn är vanligare än större, prioriterades nederbörder med längre återkomsttider. För att hitta de stora regnen användes filen från nederbördsmätningen. Målet var att hitta regnevent med relativt stor ackumulerad nederbörd samt att det inte föll under för långt tidsspann för att undvika regn som inte var sammanhängande. Regn som hade långt mellan tidsregistreringarna behandlades som två separata regnevent. I de fall fler än fem designregn hittades med relativt långa återkomsttider gjordes flödesgrafer för att se hur flödet betett sig i mätpunkten under regnet. Därefter prioriterades de nederbörder som hade en relativt isolerad och tydlig flödestopp då det underlättar för att få ett bra resultat vid kalibreringen. Regndjupet beräknades genom att summera alla registreringar av 0,2 mm inom tidsspannet för det valda regneventet. Den genomsnittliga intensiteten beräknades med hjälp av antagandet att 1 mm nederbörd är samma som 1 liter per kvadratmeter (SMHI, 2022). Därefter kunde enhetsomvandling göras samt division med regnets varaktighet, se ekvation (7).

$$i(r) = \frac{10000 \cdot h}{t_r \cdot 60} \quad (7)$$

där  $i(r)$  är den genomsnittliga intensiteten [ $l/s \cdot ha$ ],  $h$  är regndjupet [ $mm$ ] och  $t_r$  är regnets varaktighet [ $min$ ].

#### 5.1.1 Beräkning av återkomsttider

Eftersom examensarbetet undersöker hur avrinningskoefficienten beror på olika återkomsttider var det eftertraktansvärt att hitta spridda återkomsttider bland regnen. För att beräkna återkomsttiden för de olika nederbördsevenen användes Dahlström ekvation (8), från 2010, vilket enligt Svenskt vatten, 2019, gäller för svenska förhållanden samt regnvaraktigheter upp till ett dygn. Denna ekvation har utvecklats under åren men det rekommenderas fortfarande att använda Dahlström ekvation från 2010 för dagvattensystem (Svenskt vatten, DHI, SMHI, 2020).



$$i(r) = 190 \cdot \sqrt[3]{T} \cdot \frac{\ln(t_r)}{t_r^{0,98}} + 2 \quad (8)$$

där  $i(r)$  beskriver regnintensiteten i [l/(s · ha)], T är återkomsttiden i [månader] och  $t_r$  är regnvaraktigheten i [minuter].

När återkomsttiderna beräknats kunde designregnen väljas ut. Eftersom större återkomsttider är ovanligare, prioriterades de vid valet. De valda designregnen tillsammans med deras återkomsttider kan ses i tabell 6 för Stockholm, i tabell 7 för Åstorp, i tabell 8 för Kvidinge och i tabell 9 för Hyllinge. De är sorterade utefter när de föll, och namngivna a)-e).

Tabell 6: De valda designregnen från mätningen i Stockholm som kommer användas i kalibreringen.

Regnevent	Datum	Medel- intensitet [l/s*ha]	Varaktighet [min]	Regndjup [mm]	Återkomsttid [år]
a)	2023-06-19	63,33	20	7,6	0,7
b)	2023-07-02	28,67	279	48	20
c)	2023-07-25	25,18	90	13,6	0,92
d)	2023-08-07	26,60	99	15,8	1,37

Som kan ses från tabell 6 så inföll det mest intensiva skyfallet under 2:a juni 2023 för Stockholm, med en återkomsttid på 240 månader, eller 20 år. Modellen kalibrerades först för de tre mindre regnen, regnevent a), c) och d), och därefter för det största regnet, regnevent b), för att jämföra parametrarna för de små regnen mot det stora. Målet var att kunna dra en skiljelinje mellan reduktionsfaktorerna för de små regnen och de stora för samtliga platser. Små regn definierades här som regn med återkomsttid kortare än 2 år medan stora regn definierades som regn med återkomsttid längre än 3 år. Gränsvärdena valdes för att kunna jämföra kalibreringsresultatet för små och stora regn och de bestämdes utefter alla platser designregn.

I tabell 7 valdes fem designregn i Åstorp tätort där det föll tre mindre regn med återkomsttid kortare än 2 år, a), b) och d), och två större regn med återkomsttid över 3 år, c) och e). De tre mindre regnen kalibrerades först och därefter de två större regnen.

Tabell 7: De valda designregnen från mätningen i Åstorp tätort som kommer användas i kalibreringen.

Regnevent	Datum	Medel- intensitet [l/s*ha]	Varaktighet [min]	Regndjup [mm]	Återkomsttid [år]
a)	2023-07-12	10,72	423	27,2	1,92
b)	2023-08-03	89,58	16	8,6	1,33
c)	2023-08-06	8,68	860	44,8	4,98
d)	2023-08-20	21,97	132	17,4	1,43
e)	2023-08-26	23,75	174	24,8	3,52

Tabell 8: De valda designregnen från mätningen i Kvidinge tätort som kommer användas i kalibreringen.

Regnevent	Datum	Medel- intensitet [l/s*ha]	Varaktighet [min]	Regndjup [mm]	Återkomsttid [månader]
a)	2023-07-12	13,44	449	36,2	5,01
b)	2023-07-30	27,41	94	15,4	1,33
c)	2023-08-03	15,45	160	14,8	0,68
d)	2023-08-06	7,50	1008	45,4	4,15
e)	2023-08-20	20,38	119	14,6	0,88

Även i Kvidinge tätort valdes fem designregn ut, a)-e), med spridda återkomsttider, se tabell 8. De delades upp i tre mindre regn där alla hade kortare återkomsttid än 2 år, b) c) och e), samt två större regn med återkomsttid längre än 3 år, a) och d). Slutligen valdes fem designregn i Hyllinge tätort, a)-e), med tre mindre regn (återkomsttid kortare än 2 år), a) b) och d), och två större (återkomsttid längre än 3 år), c) och e). De kan ses i tabell 9. Eftersom Hyllinge, Kvidinge och Åstorp tätort alla ligger i Åstorp kommun kan det ses att några regn föll under samma datum för de tre tätorterna. Därmed kommer resultatet för de regnen i de olika

tätorterna senare jämföras i diskussionen.

Tabell 9: De valda designregnen från mätningen i Hyllinge tätort som kommer användas i kalibreringen.

Regnevent	Datum	Medel- intensitet [l/s*ha]	Varaktighet [min]	Regndjup [mm]	Återkomsttid [år]
a)	2023-07-30	152,38	152	6,4	1,71
b)	2023-08-03	85,19	18	9,2	1,42
c)	2023-08-06	10,78	870	56,2	11,58
d)	2023-08-20	23,33	130	18,2	1,68
e)	2023-08-26	22,40	183	24,6	3,27

## 5.2 Kalibrering i MIKE+

Innan själva kalibreringen kunde börja genom simuleringar behövde mätdata läggas in i programmet. De mätpunkter där flödet mätts lades in i olika noder under *measurement stations* för att kunna se resultatet av en simulering i de mätpunkter där SVOA respektive NSVA flödesmätt. Därefter lades det uppmätta regnet från hela regnperioden, vilket är det flöde som kommer belasta modellen, in under *boundary conditions*. Regnet belastade endast de avrinningsområden som låg uppströms mätpunkterna. Regnfilen ändrades från xlsx format till Dfs0 format i MIKE Zero, eftersom Dfs0 är det format som används i MIKE+. Regnet ändrades också från *mm* till  $\mu\text{m}/\text{s}$  för att ändra från regndjup till regnintensitet, eftersom det är en intensitet som ska belasta modellen. Under *simulation setup* skapades en simulering för varje regnevent. *Plots and statistics* är det ställe där resultatet av en simulering kan analyseras. Eftersom det inte är relevant att kolla på hur regnet påverkade samtliga noder utan endast de mätpunkter där flödesmätning skett, lades de in här tillsammans med uppmätt flöde för mätpunkterna. Även resultatfilen från simuleringen vilket visar det beräknade flödet i en viss mätpunkt lades in här så att den kunde jämföras med uppmätt flöde.

Kalibreringen i MIKE+ följde Blomquist m. fl. (2016) modelleringsriktlinjer som beskrivs närmare i sektion 2 och 3. De parametrar som valde att ändras vid kalibrering av flödet var de parametrar som beskrivs i sektion 3.2, det vill säga den

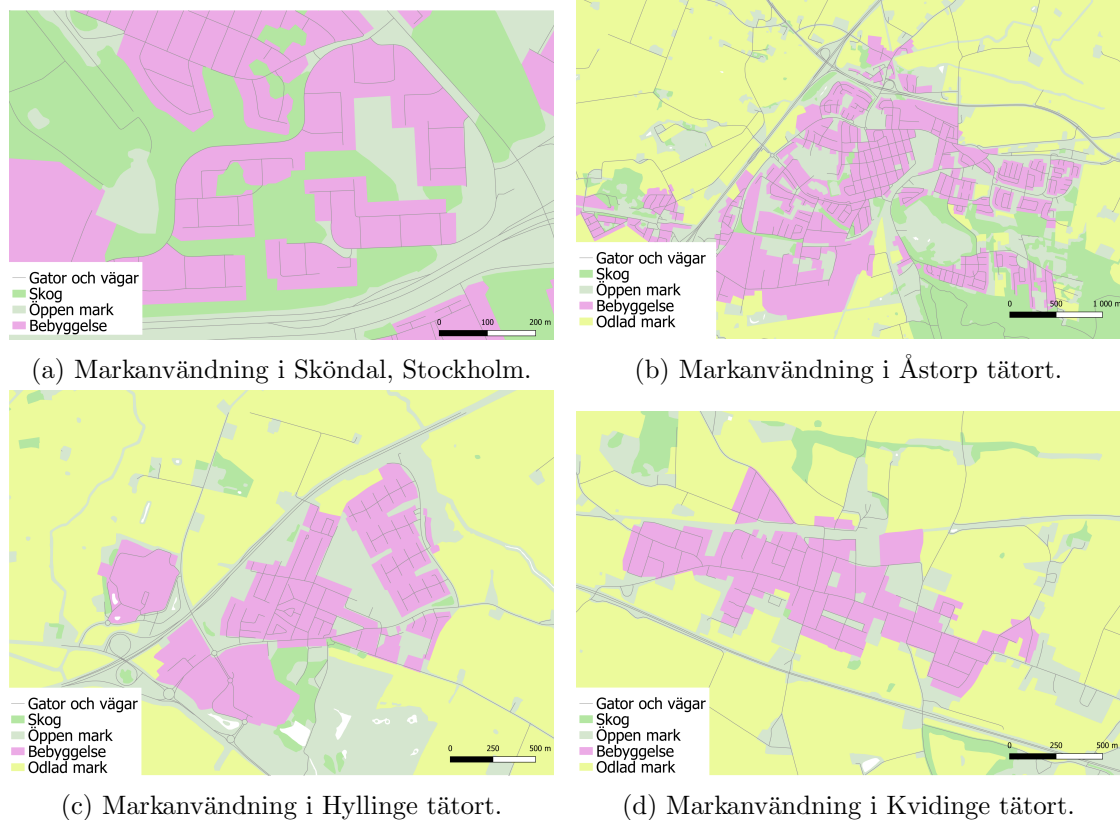
hårdgjorda ytan via reduktionsfaktorn, koncentrationstiden, tid-area kurva samt initialförlust. Reduktionsfaktorn och koncentrationstiden ändrades alltså först då de som beskrivits tidigare har störst inverkan på kalibreringsresultatet. Till en början ändrades endast reduktionsfaktorn för att få rätt höjd på flödestoppen, och därmed även rätt volym. Därefter ändrades koncentrationstiden för att få rätt bredd på toppen. Tid-area kurvan valdes till en början som nummer 1 på samtliga fall och modifierades därefter för att förbättra resultatet. Initialförlusten var den parameter som inte ändrades utan sattes som konstant till 0,6 mm. Efter att utångsläget för samtliga parametrar hade valts ut började en iterativ process där olika simuleringar kördes för att få fram en så bra kalibrering av modellen som möjligt. Eftersom syftet var att undersöka hur en modell kalibrerad för små regn klarar av ett stort regn kalibrerades modellen först utifrån de mindre regnen, och därefter för det större regnet. Normalt sett vid kalibrering så hittas först de ideala parameterintervallen för varje regn genom upprepade simuleringar, därefter hittas ett medelvärde av alla parametrar som passar samtliga regn eftersom modellen ska vara kalibrerad att funka för alla regn. Ofta väljs parametrarna så att de inte underskattar några flöden. Eftersom det inte var av intresse här att hitta de optimala parametrarna för modellen, utan de optimala parametrarna för varje återkomsttid, valdes parametrarna för varje regn enskilt. Nedan beskrivs hur de olika parametrarna valdes ut eller beräknades.

### 5.2.1 Val av avrinningsområden

Avrinningsområdenas utformning var definierade sedan tidigare i båda modellerna som beskrivit i sektionerna *modellbeskrivning*. Den eller de brunnar där flödesmätningen skett markerades i MIKE tillsammans med alla noder och ledningar uppströms. Därefter valdes alla avrinningsområden sammankopplade med noderna uppströms mätpunkten att bli de avrinningsområden vars parametrar skulle ändras i kalibreringen, eftersom det ju är de avrinningsområdena som bidrar med flöde till mätpunkterna. I de fall där två flödesmätare fanns kalibrerades de var för sig, eftersom noderna som är kopplade till varje mätpunkt tillhör olika avrinningsområden. Först kalibrerades alltså den ena mätpunkten med tillhörande avrinningsområden, därefter den andra. För Sköndal i Stockholm var det totalt sju områden. Modellen över Åstorp kommun hade i snitt mindre areor för sina avrinningsområden. Därmed hade Hyllinge 203 avrinningsområden uppströms sin mätpunkt. Åstorp tätort hade 155 avrinningsområden uppströms mätpunkt 1 och 212 uppströms mätpunkt 2. Kvidinge tätort hade totalt 126 avrinningsområden uppströms sin mätpunkt.

### 5.2.2 Beräkning av hårdgjord yta

Som beskrivits tidigare så fanns det för både modellen över Sköndal, Stockholm, och modellen över Åstorp kommun redan beräknade hårdgjorda ytor för varje avrinningsområde. De var i båda modellerna inskrivna i programmet som en användarspecifik hårdgjord yta beräknade med hjälp av markanvändningsraster. Det var däremot inte specificerat mer vilka marktyper de använt vid beräkningen. För att säkerställa att andel hårdgjord yta i de båda modellerna blivit beräknade på liknande sätt och med samma noggrannhet, beräknades de på nytt. Andel hårdgjord yta påverkar ju vilken reduktionsfaktor som krävs så för att kunna jämföra resultatet modellerna emellan är det viktigt att de beräknats på samma sätt. Samma metod användes, andel hårdgjord yta bestämdes genom markanvändningsraster, men det beräknades genom funktionen *catchment processing* som finns i MIKE+. Kartor från Lantmäteriet i shape-format användes vilka laddades ner via deras tjänst öppna geodata (Lantmäteriet, u.å.). De lades sedan in i MIKE+. De tre lager som användes över området i Sköndal, Stockholm, var öppen mark och skog, byggnader samt vägar. För modellen över Åstorp kommun, Skåne, användes utöver det även lagret odlad mark. Hur markanvändningen såg ut på de olika områdena kan ses i figur 8.



Figur 8: Hur markanvändningen såg ut för de studerade områdena. Rosa symboliserar byggnader, gul symboliserar odlad mark, ljusgrön symboliserar öppen mark, mörkgrön symboliserar skog och gråa streck symboliserar gator och vägar.

De olika marktyperna gavs därefter varsin avrinningskoefficient i MIKE+ enligt rekommendation från P110 Svenskt Vatten (2016) och kan ses i tabell 10.

Tabell 10: Valda värden för avrinningskoefficienter för olika marktyper vid beräkning av hårdgjord yta.

Typ av yta	Avrinningskoefficient
Byggnader	0,9
Vägar	0,8
Öppen mark och skog	0,05
Odlad mark	0,05

Därefter beräknade MIKE+ andel hårdgjord yta för varje avrinningsområde. Eftersom de beräknade hårdgjorda ytorna skiljde sig en del från varandra för de två beräkningarna användes en bakgrundskarta från Google Maps. Varje avrinningsområde studerades och andel byggnader, vägar och öppen mark och skog uppskattades. För att se till att den hårdgjorda ytan beräknats på ett likvärdigt sätt för de två modellerna valdes dock att använda de ytor som beräknats med hjälp av Lantmäteriets kartor.

### 5.2.3 Beräkning av koncentrationstider

För att beräkna avrinningsområdenas koncentrationstider användes först den erfarenhetsbaserade metoden, enligt ekvation (4), då den som tidigare nämnt är vanligare vid kalibrering. Resultatet jämföres därefter med standardmetoden i MIKE+ som också kallas för P110-metoden. En simulering kördes för båda metoderna där tid-area kurvan valdes till 1 och reduktionsfaktorn till 1. Detta gjordes för ett regn i Åstorp kommun och ett regn i Sköndal, Stockholm. Därefter jämfördes  $R^2$ -värdet. I Åstorp kommun gav P110-metoden ett  $R^2$ -värde på -0,24 och erfarenhetsmetoden ett värde på -0,38. I Sköndal, Stockholm, gav P110-metoden ett  $R^2$ -värde på 0,97 och erfarenhetsmetoden ett värde på 0,95. Resultatet kan även ses i tabell 11. Eftersom P110-metoden gav en bättre korrelation mellan uppmätta och beräknade värden för båda modellerna var det denna metod som användes vid kalibreringen för samtliga modeller. I de fall då koncentrationstiden behövde ändras under kalibreringen ändrades de för samtliga avrinningsområden uppströms den relevanta mätpunkten.

Tabell 11: Hur väl modellen svarade bedömt med  $R^2$ , beroende på vilken metod koncentrationstiden beräknats med.

Metod för beräkning av TOC	$R^2$ Sköndal, Stockholm	$R^2$ Åstorp kommun
P110-metoden	0,97	-0,24
Erfarenhetsmetoden	0,95	-0,38

### 5.2.4 Simuleringar

För att få ett bra kalibreringsresultat användes en iterativ process för varje mätpunkt. Först ändrades volymen på flödestoppen genom reduktionsfaktorn. För varje simulering modifierades reduktionsfaktorn för att minimera felet. När volymen blivit så bra som möjligt, det vill säga när volymfelet minimerats, kunde själva formen på flödestoppen ändras. Genom upprepade simuleringar ändrades koncentrationstiden

samt val av tid-area kurva tills  $R^2$ -värdet blivit så nära 1 som möjligt. Processen upprepades för samtliga smådesignregn och därefter kördes en simulering över de stora regnen, med de valda parametrarna för de små regnen för att se hur om de uppmätta flödena då underskattades. Därefter ändrades parametrarna så de stämde så bra in som möjligt på det stora regnet.





## 6 Resultat

I följande sektion kommer de erhållna resultaten presenteras utefter de kalibrerade områdena Sköndal, Åstorp, Hyllinge och Kvidinge.

### 6.1 Sköndal

Sköndal bestod av en nederbördsjäkmätare och två flödesjäkmätare. Eftersom de uppmätta flödena i den ena mätpunkten var orimligt små, ansågs de inte korrekta och de uteslöts därför ur resultatet. Istället visas resultatet endast över en mätpunkt. De valda parametrarna för tid-area metoden för de olika designregnen kan ses i tabell 12 sorterade utefter när regnen föll. Eftersom initialförlusten var satt till 0,6 mm konstant och aldrig ändrades, är den inte med i tabellen. Koncentrationstiden anges i minuter och *P110-metoden* betyder att koncentrationstiden inte ändrades utan de beräknade koncentrationstiderna för varje avrinningsområde med hjälp av P110-metoden behövs. Regnets tid-area kurva benämns som 1, 2 eller 3 utifrån de förvalda kurvorna i MIKE+. Vidare i arbetet kommer reduktionsfaktorn analyseras istället för avrinningskoefficienten. Detta eftersom varje avrinningsområde har olika avrinningskoefficienter men samma reduktionsfaktor i och med att reduktionsfaktorn har ändrats lika mycket för alla avrinningsområden för ett visst regn. Ersättningen anses rimligt då de följer varandra; en lägre reduktionsfaktor innebär en lägre avrinningskoefficient eftersom avrinningskoefficienten och reduktionsfaktorn multipliceras med arean för att få fram andel hårdgjord yta.

Tabell 12: Visar valda parametrar för varje designregn utifrån tid-area metoden, för Sköndal Stockholm.

Designregn	Datum	Koncentrationstid	Tid-area kurva	Reduktionsfaktor
a)	2023-06-19	P110-metoden	1	0,77
b)	2023-07-02	8	2	0,8
c)	2023-07-25	3	2	0,67
d)	2023-08-07	11	3	0,61

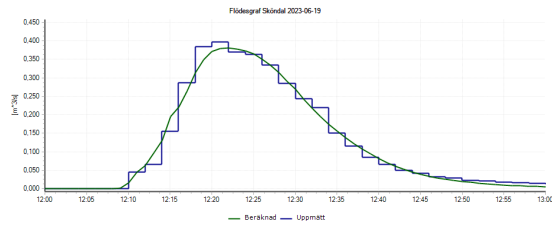
Resultatet kalibreringen gav med de givna parametrarna kan ses i tabell 13 för de olika regnen. Tabellen sammanfattar även bedömningen av kalibreringen utifrån statistikunderlaget från Stockholm Vatten som kan ses i tabell 4. Eftersom alla volymfel höll sig under  $\pm 5\%$  bedöms alla kalibreringar vara mycket bra utifrån volymen. Förhållandet mellan uppmätt och beräknad volym är alltså minimal. För  $R^2$ -värdet, det vill säga den allmänna bedömningen på hur väl uppmätta värden stämde överens med beräknade värden, lyckades två av regnen ha ett  $R^2$ -värde större än 0,85 och bedömdes därmed som mycket bra, medan två av regnen hade ett värde mindre än 0,7 och bedöms därmed som dåliga. Eftersom volymfelet var direkt beroende av val av reduktionsfaktor, prioriterades att minimera det felet för att hitta rätt reduktionsfaktor. Detta prioriterades alltså över ett bra  $R^2$ -värde, även om målet var att få så bra som möjligt på båda.

Tabell 13: Visar resultatet över kalibreringen i måtten  $R^2$  samt volymfel tillsammans med en bedömning utifrån Stockholm Vattens statistikunderlag.

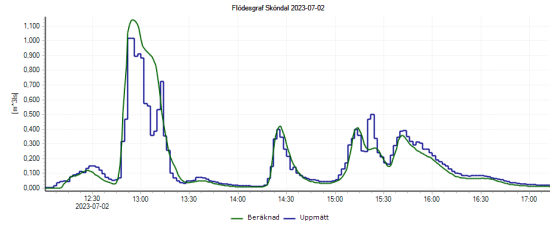
Designregn	Datum	$R^2$	Volymfel [%]	Bedömning $R^2$	Bedömning volymfel
a)	2023-06-19	0,97	-1,32	Mycket bra	Mycket bra
b)	2023-07-02	0,86	3,97	Mycket bra	Mycket bra
c)	2023-07-25	0,63	1,40	Dåligt	Mycket bra
d)	2023-08-07	0,65	3,10	Dåligt	Mycket bra

I figur 9 syns flödeskurvor över de kalibrerade designregnen, där blå visar uppmätt flöde och grön visar det simulerade flödet. Eftersom alla regntillfällen har olika långa varaktigheter är skalan på x-axeln inte homogen. I figur 10 visas hur de valda

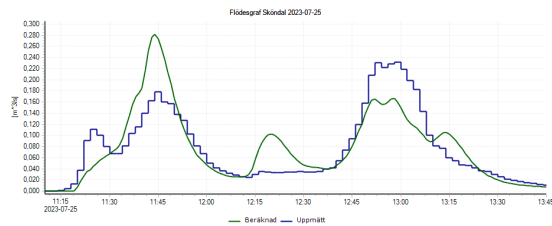
reduktionsfaktorerna för alla regn i Sköndal, Stockholm, varierar med regnens återkomsttider. På x-axeln syns återkomsttiderna sorterade i stigande ordning.



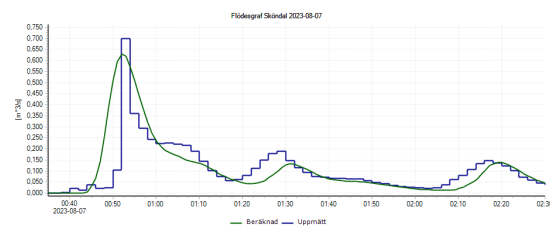
(a) Flödesgraf Sköndal 2023-06-19.  $T= 0,7\text{år}$  och  $\varphi =0,77$



(b) Flödesgraf Sköndal 2023-07-02.  $T= 20\text{år}$  och  $\varphi =0,8$

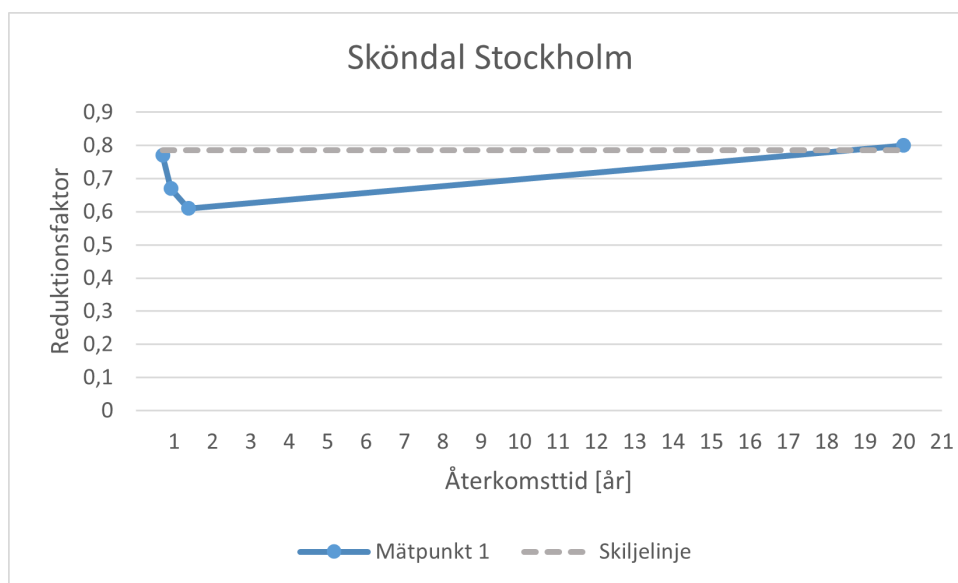


(c) Flödesgraf Sköndal 2023-07-25.  $T= 0,92\text{år}$  och  $\varphi =0,67$



(d) Flödesgraf Sköndal 2023-08-07.  $T= 1,37\text{år}$  och  $\varphi =0,61$

Figur 9: Sköndals fyra kalibrerade regntillfällen där blå linje visar uppmätt flöde och grön linje visar beräknat flöde.



Figur 10: Hur reduktionsfaktorn varierar med återkomsttid för de kalibrerade regnen i Sköndal, Stockholm. Skiljelinjen särskiljer reduktionsfaktorerna mellan de små och de stora regnen och påvisar därmed att de regn med längre återkomsttid även har högre reduktionsfaktorer

## 6.2 Åstorp

I Åstorp användes nederbördsdata från en nederbördsmätare och två flödesmätare som var utspridda över tätorten. I tabell 14 kan de valda parametrarna för tid-area metoden ses för de två mätpunkterna.

Tabell 14: Visar valda parametrar för varje designregn utifrån tid-area metoden i Åstorp tätort.

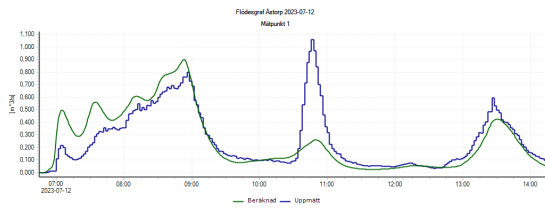
Mätpunkt 1				
Designregn	Datum	Koncentrationstid	Tid-area kurva	Reduktionsfaktor
a)	2023-07-12	7	3	1,31
b)	2023-08-03	7	3	0,84
c)	2023-08-06	15	2	1,97
d)	2023-08-20	13	1	1,13
e)	2023-08-26	7	1	1,7
Mätpunkt 2				
Designregn	Datum	Koncentrationstid	Tid-area kurva	Reduktionsfaktor
a)	2023-07-12	7	3	1,2
b)	2023-08-03	11	3	0,52
c)	2023-08-06	10	2	1,32
d)	2023-08-20	7	3	0,88
e)	2023-08-26	7	1	1,24

Resultatet kalibreringen gav över Åstorp tätort kan ses i tabell 15. Tabellen sammanfattar även bedömningen av kalibreringen utifrån statistikunderlaget från Stockholm Vatten som kan ses i tabell 4. Bedömningen över resultatet i de två mätpunkterna klassades som samma för båda mätpunkterna. Liksom i Sköndal så klassades alla volymfel i Åstorp tätort som mycket bra då de var mindre än  $\pm 5\%$ . Utifrån  $R^2$ -värdet ansågs kalibreringen för tre av designregnen mycket bra då de var större än 0,85. En kalibrering bedömdes som dålig då  $R^2$ -värdet var mindre än 0,7 och en bedömdes som ok då  $R^2$ -värdet var mellan 0,7 och 0,85.

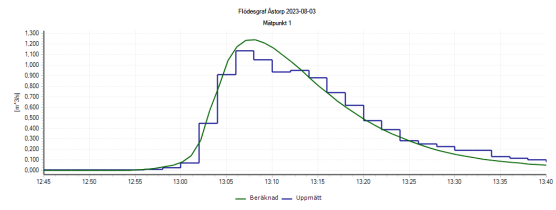
Tabell 15: Visar resultatet över kalibreringen för Åstorp tätort i måtten  $R^2$  samt volymfel tillsammans med en bedömning utifrån Stockholm Vattens statistikunderlag.

Mätpunkt 1					
Designregn	Datum	$R^2$	Volymfel [%]	Bedömning $R^2$	Bedömning volymfel
a)	2023-07-12	0,55	-1,34	Dålig	Mycket bra
b)	2023-08-03	0,93	0,49	Mycket bra	Mycket bra
c)	2023-08-06	0,81	0,83	Ok	Mycket bra
d)	2023-08-20	0,86	2,90	Mycket bra	Mycket bra
e)	2023-08-26	0,91	0,85	Mycket bra	Mycket bra
Mätpunkt 2					
Designregn	Datum	$R^2$	Volymfel [%]	Bedömning $R^2$	Bedömning volymfel
a)	2023-07-12	0,52	-0,40	Dålig	Mycket bra
b)	2023-08-03	0,98	1,36	Mycket bra	Mycket bra
c)	2023-08-06	0,77	1,35	Ok	Mycket bra
d)	2023-08-20	0,87	1,91	Mycket bra	Mycket bra
e)	2023-08-26	0,85	0,037	Mycket bra	Mycket bra

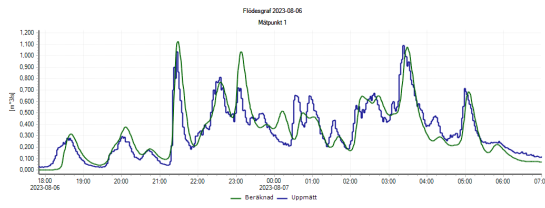
Figur 11 och 12 visar flödeskurvorna för de kalibrerade regnen för mätpunkt 1 respektive mätpunkt 2. Figur 13 visar hur reduktionsfaktorn varierar med återkomsttid för båda mätpunkterna.



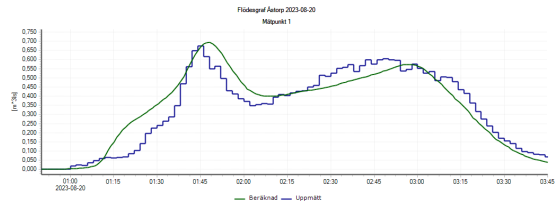
(a) Flödesgraf Åstorp 2023-07-12.  $T = 1,92\text{år}$  och  $\varphi = 1,31$



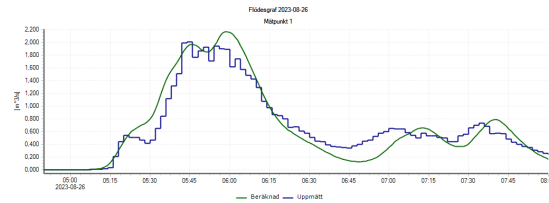
(b) Flödesgraf Åstorp 2023-08-03.  $T = 1,33\text{år}$  och  $\varphi = 0,84$



(c) Flödesgraf Åstorp 2023-08-06.  $T = 4,98\text{år}$  och  $\varphi = 1,97$



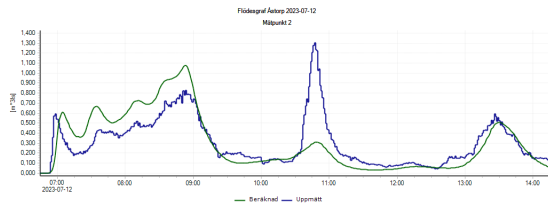
(d) Flödesgraf Åstorp 2023-08-20.  $T = 1,43\text{år}$  och  $\varphi = 1,13$



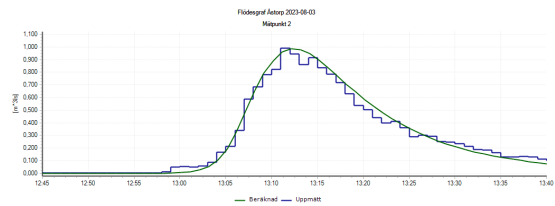
(e) Flödesgraf Åstorp 2023-08-26.  $T = 3,52\text{år}$  och  $\varphi = 1,7$

Figur 11: Åstorps fem kalibrerade regntillfällen för mätpunkt 1 där blå linje visar uppmätt flöde och grön linje visar beräknat flöde.

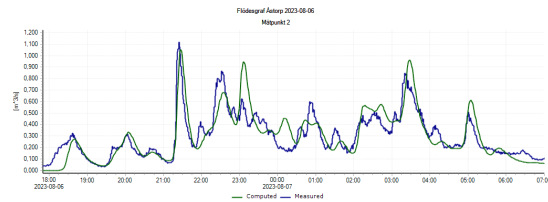




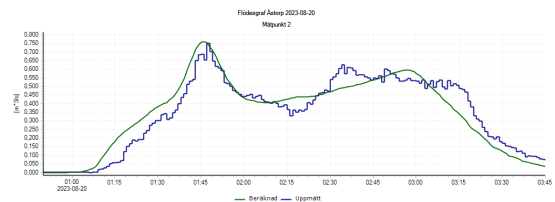
(a) Flödesgraf Åstorp 2023-07-12.  $T = 1,92\text{år}$  och  $\varphi = 1,2$



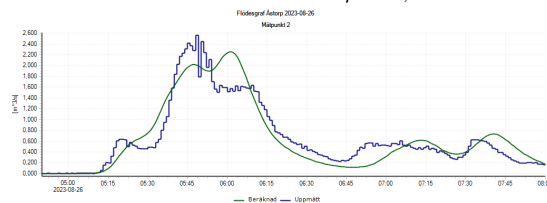
(b) Flödesgraf Åstorp 2023-08-03.  $T = 1,33\text{år}$  och  $\varphi = 0,52$



(c) Flödesgraf Åstorp 2023-08-06.  $T = 4,98\text{år}$  och  $\varphi = 1,32$

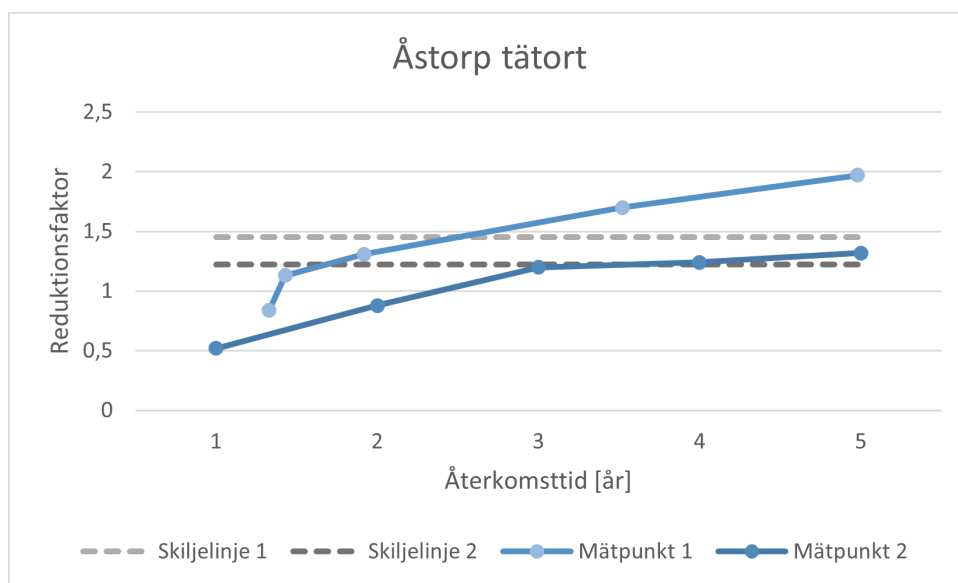


(d) Flödesgraf Åstorp 2023-08-20.  $T = 1,43\text{år}$  och  $\varphi = 0,88$



(e) Flödesgraf Åstorp 2023-08-26.  $T = 3,52\text{år}$  och  $\varphi = 1,24$

Figur 12: Åstorps fem kalibrerade regntillfällen för mätpunkt 2 där blå linje visar uppmätt flöde och grön linje visar beräknat flöde.



Figur 13: Hur reduktionsfaktorn varierar med återkomsttid för de kalibrerade regnen i Åstorp tätort. Skiljelinjen särskiljer reduktionsfaktorerna mellan de små och de stora regnen och påvisar därmed att de regn med längre återkomsttid även har högre reduktionsfaktorer.

### 6.3 Hyllinge

I Hyllinge tätort erhöles en nederbördsjätare tillsammans med en flödesjätare. Fem olika designregn valdes ut för Hyllinge och efter kalibrering erhöles de optimala parametrarna för varje regn, resultatet kan ses i tabell 16.

Tabell 16: Visar valda parametrar för varje designregn utifrån tid-area metoden, för Hyllinge tätort.

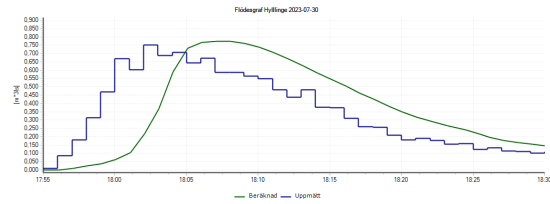
Designregn	Datum	Koncentrationstid	Tid-area kurva	Reduktionsfaktor
a)	2023-07-30	2	2	1,1
b)	2023-08-03	2	2	1,05
c)	2023-08-06	2	2	1,54
d)	2023-08-20	3	2	1,12
e)	2023-08-26	2	2	1,69

De valda parametrarna gav ett kalibreringsresultat som kan ses i tabell 17, tillsammans med kalibreringens bedömning. Återigen var alla volymfel små, mindre än  $\pm 5\%$  och därav bedömdes kalibreringen över volymfelet som mycket bra. Bedömningen utifrån  $R^2$ -värdet var däremot sämre där kalibreringen över endast ett regn uppnådde mycket bra i sin bedömning, medan två bedömdes som dåliga och en som ok.

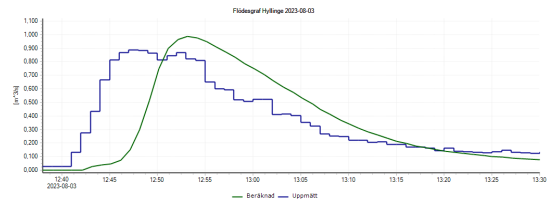
Tabell 17: Visar resultatet över kalibreringen för Hyllinge tätort i måtten  $R^2$  samt volymfel tillsammans med en bedömning utifrån Stockholm Vattens statistikunderlag.

Designregn	Datum	$R^2$	Volymfel [%]	Bedömning $R^2$	Bedömning volymfel
a)	2023-07-30	0,44	4,94	Dålig	Mycket bra
b)	2023-08-03	0,46	-4,37	Dålig	Mycket bra
c)	2023-08-06	0,66	4,76	Dålig	Mycket bra
d)	2023-08-20	0,86	-2,08	Mycket bra	Mycket bra
e)	2023-08-26	0,77	-4,46	Ok	Mycket bra

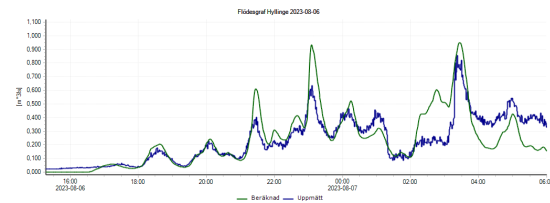
Figur 14 visar flödesgrafer över de fyra designregnen i Hyllinge, medan figur 15 visar hur reduktionsfaktorn varierar med återkomsttid.



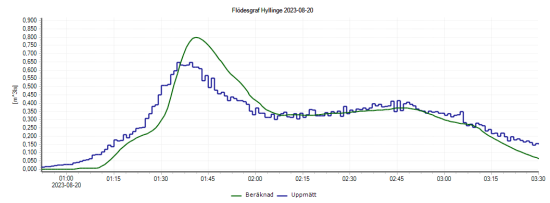
(a) Flödesgraf Hyllinge 2023-07-30.  $T= 1,71\text{år}$  och  $\varphi = 1,1$



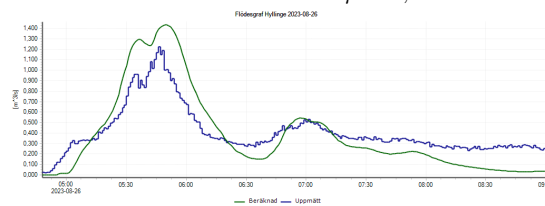
(b) Flödesgraf Hyllinge 2023-08-03.  $T= 1,42\text{år}$  och  $\varphi = 1,05$



(c) Flödesgraf Hyllinge 2023-08-06.  $T= 11,58\text{år}$  och  $\varphi = 1,54$

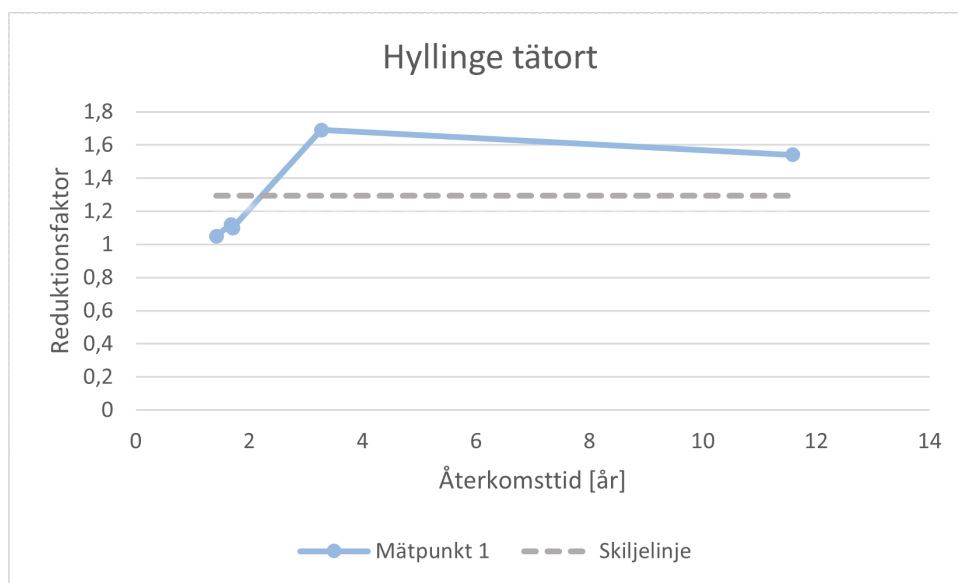


(d) Flödesgraf Hyllinge 2023-08-20.  $T= 1,68\text{år}$  och  $\varphi = 1,12$



(e) Flödesgraf Hyllinge 2023-08-26.  $T= 3,27\text{år}$  och  $\varphi = 1,69$

Figur 14: Hyllinges fem kalibrerade regntillfällen där blå linje visar uppmätt flöde och grön linje visar beräknat flöde.



Figur 15: Hur reduktionsfaktorn för de fem kalibrerade regnen i Hyllinge tätort varierar med återkomsttid. Skiljelinjen särskiljer reduktionsfaktorerna mellan de små och de stora regnen och påvisar därmed att de regn med längre återkomsttid även har högre reduktionsfaktorer.

## 6.4 Kvidinge

Tabell 18 visar de optimala parametrarna enligt tid-area metoden.

Tabell 18: Visar valda parametrar för varje designregn utifrån tid-area metoden, för Kvidinge tätort.

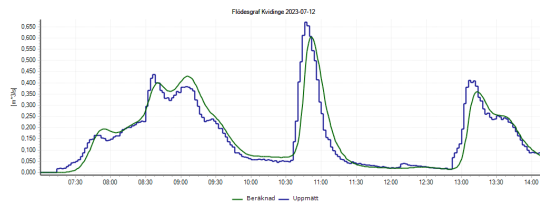
Designregn	Datum	Koncentrationstid	Tid-area kurva	Reduktionsfaktor
a)	2023-07-12	7	1	0,9
b)	2023-07-30	3	2	0,6
c)	2023-08-03	2	2	0,84
d)	2023-08-06	3	2	1,1
e)	2023-20	2	2	0,84

Tabell 19 visar bedömningen av kalibreringen för Kvidinge tätort. Som kan ses så uppnådde samtliga regn mycket bra som bedömning för både  $R^2$ -värdet och volymfelet. Det beräknade flödet stämde därmed väl överens med det uppmätta flödet vilket också kan ses i figur 16.

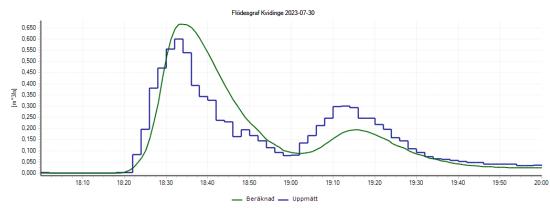
Tabell 19: Visar resultatet över kalibreringen för Kvidinge tätort i måtten  $R^2$  samt volymfel tillsammans med en bedömning utifrån Stockholm Vattens statistikunderlag.

Designregn	Datum	$R^2$	Volymfel [%]	Bedömning $R^2$	Bedömning volymfel
a)	2023-07-12	0,91	2,00	Mycket bra	Mycket bra
b)	2023-07-30	0,86	0,65	Mycket bra	Mycket bra
c)	2023-08-03	0,97	0,14	Mycket bra	Mycket bra
d)	2023-08-06	0,91	1,76	Mycket bra	Mycket bra
e)	2023-08-20	0,96	-2,61	Mycket bra	Mycket bra

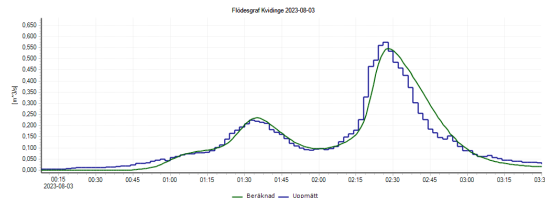
I figur 17 visas hur de valda reduktionsfaktorerna varierar med återkomsttid för Kvidinges designregn.



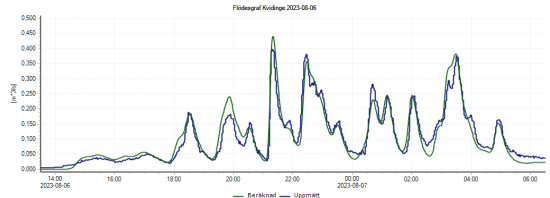
(a) Flödesgraf Kvidinge 2023-07-12.  $T = 5,01\text{år}$  och  $\varphi = 0,9$



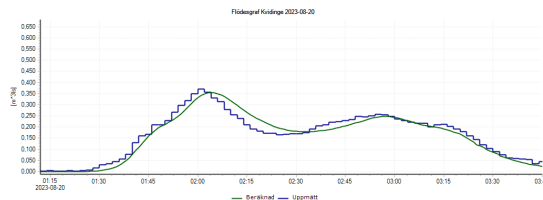
(b) Flödesgraf Kvidinge 2023-07-30.  $T = 1,33\text{år}$  och  $\varphi = 0,6$



(c) Flödesgraf Kvidinge 2023-08-03.  $T = 0,68\text{år}$  och  $\varphi = 0,84$



(d) Flödesgraf Kvidinge 2023-08-06.  $T = 4,15\text{år}$  och  $\varphi = 1,1$



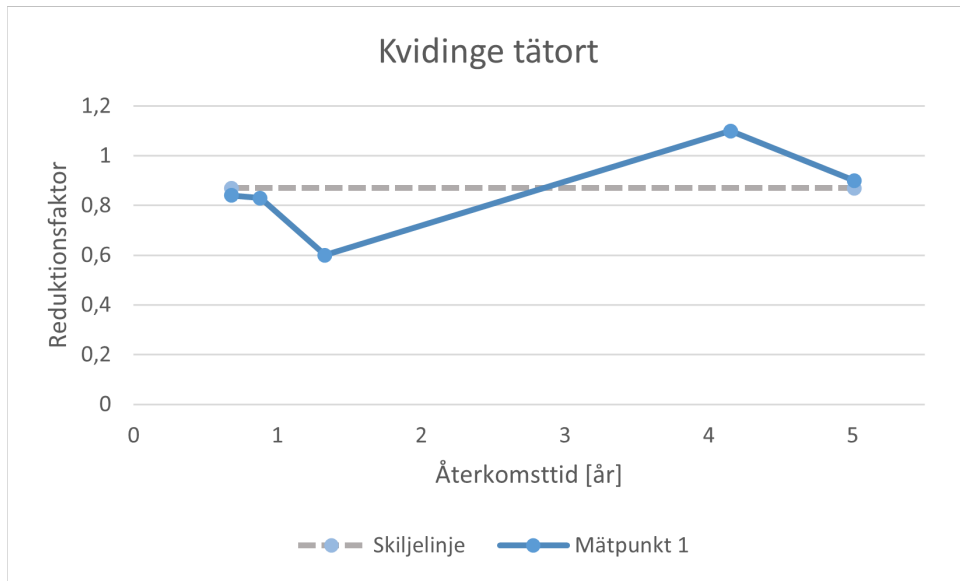
(e) Flödesgraf Kvidinge 2023-08-20.  $T = 0,88\text{år}$  och  $\varphi = 0,83$

Figur 16: Kvidinges fem kalibrerade regntillfällen där blå linje visar uppmätt flöde och grön linje visar beräknat flöde.

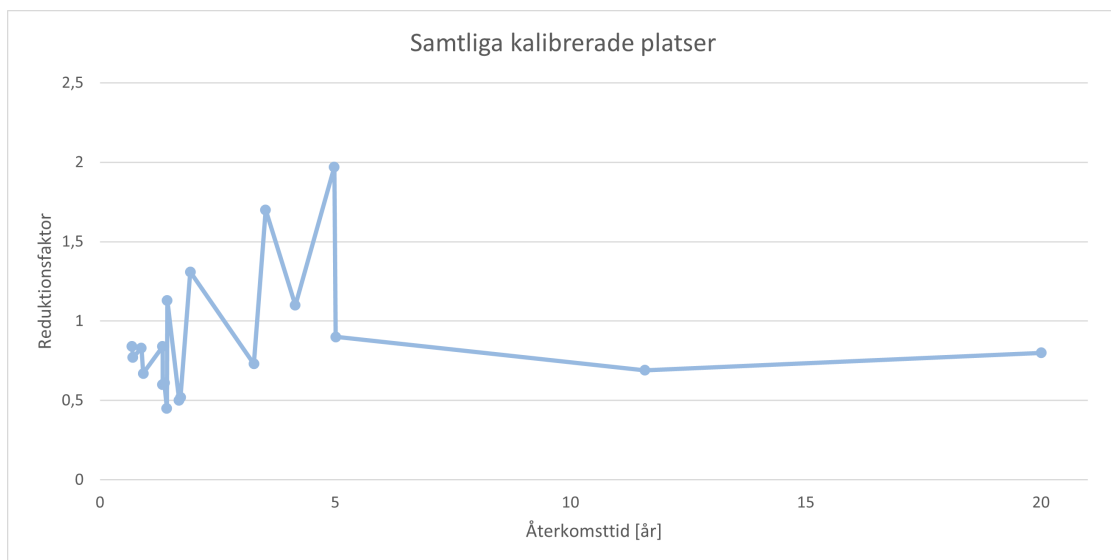
## 6.5 Samtliga områden

Eftersom målet med arbetet var att hitta en generell trend för hur avrinningskoefficienten, eller reduktionsfaktorn, varierade med återkomsttid jämfördes de kalibrerade värdena på reduktionsfaktorerna med återkomsttid för alla designregn på samtliga platser. Resultatet visualiseras i figur 18.

Hur den hårdgjorda ytan varierade mellan de olika områdena illustreras i tabell 20. Den totala arean är arean av det avrinningsområde som bidrar med avrinning till mätpunkten och den reducerade arean är storleken på den hårdgjorda ytan i avrinningsområdet.



Figur 17: Hur reduktionsfaktorn för de fem kalibrerade regnen i Kvidinge tätort varierar med återkomsttid. Skiljelinjen särskiljer reduktionsfaktorerna mellan de små och de stora regnen och påvisar därmed att de regn med längre återkomsttid även har högre reduktionsfaktorer.



Figur 18: Hur reduktionsfaktorerna för samtliga kalibrerade designregn varierar med återkomsttid.



Tabell 20: Visar förhållandet mellan total area, reducerad area samt andel reducerad area för samtliga kalibrerade områden.

<b>Område</b>	<b>Total area [ha]</b>	<b>Reducerad area [ha]</b>	<b>Andel reducerad area [%]</b>
Sköndal	15,77	8,68	55,01
Åstorp M1	79,86	19,85	24,86
Åstorp M2	87,39	25,89	29,63
Hyllinge	53,92	15,31	28,39
Kvidinge	52,72	13,69	25,96

## 7 Diskussion

Som kan ses i figur 18 sågs ingen generell tydlig trend av ökande reduktionsfaktor tillsammans med ökad återkomsttid. Däremot syntes en skillnad mellan de regn som definierades som små och stora. Detta visualiserades genom trendlinjen, eller skiljelinjen, i figurerna 10, 13, 15 och 17 för respektive plats, där de små regnen ( $T < 2$  år) höll sig under skiljelinjen och de stora regnen ( $T > 3$  år) höll sig över skiljelinjen. Det var alltså en skillnad i reduktionsfaktor mellan de små och stora regnen, även om hur markant den skillnaden var varierade. Det indikerar att avrinningen generellt är större för regn med längre återkomsttid vilket är rimligt eftersom längre återkomsttid i många fall innebär större regnmängder och, eller, längre varaktighet. Eftersom reduktionsfaktorn inom kategorierna små och stora regn varierade på ett sätt utan mönster undersöktes även andra samband som kan ha påverkat resultatet, utöver återkomsttid. Grafer gjordes över hur regnmängden samt regnets varaktighet berodde på ökad reduktionsfaktor, men ingen tydlig trend upptäcktes där. Den maximala flödestoppen för varje regn jämfördes också med ökande reduktionsfaktor men ingen trend sågs där heller. Även regnets intensivaste topp jämfördes med reduktionsfaktor men inget samband upptäcktes där heller. Det undersöktes även om det fanns någon koppling mellan hur flödeskurvan såg ut och reduktionsfaktor. De olika regnen delades upp beroende på om flödestoppen skedde tidigt i regnet, sent i regnet, ifall regnet endast bestod av en tydlig flödestopp, ifall hela regnet bestod av en platt topp, ifall det bestod av många flödestoppar eller ifall det bestod av 2-3 flödestoppar med en kort men tydlig paus mellan. Därefter sorterades regnen i varje kategori utifrån ökande återkomsttid, men ingen tydlig trend sågs för reduktionsfaktorerna. Därmed kan slutsatsen dras att det är ett flertal faktorer som påverkar reduktionsfaktorn, och därmed kommer de olika regnen analyseras utifrån en blandning möjliga faktorer som kan ha påverkat resultatet. Det kommer diskuteras dels utifrån varje ställe för sig, men även en jämförelse områdena emellan.

### 7.1 Skillnad i beräknad hårdgjord yta

I tabell 20 syns hur storleken på de teoretiskt beräknade hårdgjorda ytorna i varje avrinningsområde varierar. Sköndal hade minst område med hårdgjord yta vilket förklarar de låga reduktionsfaktorerna. Däremot hade mätpunkt 2 i Åstorp större reducerad area, 26 ha, medan mätpunkt 1 endast hade 20 ha men fortfarande högre reduktionsfaktorer. Slutsatsen blir därför att det är många andra faktorer som påverkar hur stor avrinning det blir utöver storleken på den hårdgjorda ytan. Eftersom en högre andel hårdgjord yta bidrar till kortare verklig koncentrationstid vilket i sig leder till högre flödestoppar samt större regnvolym (Shuster m. fl., 2005)

är det svårt att jämföra områden som har olika storlekar på sin hårdgjord yta. Det syns även i figur 18 som inte visar något tydligt mönster. Hur stor volym av regnet som avrinner till ledningsnätet är ju i högsta grad beroende av avrinningskoefficienten.

Något som också kan påverka är vilka avrinningsområden som har vilken andel hårdgjord yta. När modellerna belastats med ett regn har det fallit jämnt över avrinningsområdena, medan det i verkligheten kan vara lokala skillnader. I varje område fanns bara en nederbördsräknare uppsatt och det regn den registrerat behöver inte stämma med vad en nederbördsräknare en bit ifrån hade registrerat. Därför är det en stor osäkerhet i modellen att anta att regnet fallit jämnt över alla avrinningsområden. I verkligheten har kanske regnet varit mer intensivt över en del avrinningsområden nära flödesräknaren som kanske dessutom har en hög andel hårdgjord yta vilket skjuter den uppmätta flödestoppen åt vänster samtidigt som den ökar den uppmätta flödestoppen, till skillnad från den beräknade flödestoppen.

## 7.2 Sköndal, Stockholm

Resultatet för kalibreringen över modellen i Sköndal, Stockholm, stämde inte överens med den tes som konstaterades i början av arbetet. Istället minskade reduktionsfaktorn med ökande återkomsttid fram till det största regnet, regntillfälle b), som erhöll den högsta avrinningskoefficienten för området. Om de olika flödesgraferna jämförs, som kan ses i figur 9, är de väldigt olika. Det största regnet, regntillfälle b), börjar med en hög flödespeak som pågår ungefär en halvtimme. Enligt Xue och Gavin, 2008, bildas mindre avrinning om ett regnevent startar med hög intensitet och avslutas med låg, jämfört med tvärtom. Det kan vara en anledning till varför inte examensarbetets regn med längst återkomsttid bidrog till en större reduktionsfaktor. Det kan även förklara varför regntillfälle c), som börjar med sin högsta flödespeak, har lägre reduktionsfaktor än regntillfälle b), som istället avslutar med sin flödespeak. Regntillfälle a), som erhöll områdets kortaste återkomsttid ( $T=0,7$  år), hade nästan lika hög reduktionsfaktor som regntillfälle b) ( $T=20$  år). Enligt Guan m. fl. (2015), påverkas avrinningen till stor del i urbana områden inte bara av andel hårdgjord yta utan även av hur regnet ser ut. Till exempel skedde regntillfälle a) under kort tid och med en hög intensitet, vilket kan bidra till hög avrinning enligt Guan m. fl. (2015).

## 7.3 Åstorp tätort

För Åstorp tätort följde reduktionsfaktorerna en tydligt ökande trend i samband med ökande återkomsttider. Detta gällde för båda mätpunkterna. Regntillfälle e)

har klart högst peakflöde och även högre genomsnittlig intensitet jämfört med regntillfälle c) som har längst återkomsttid. Dock regnade det bara 24,8 mm under regntillfälle c) jämfört med 44,8 mm under regntillfälle e) vilket kan vara anledningen till att regntillfälle e) ändå hade högre reduktionsfaktor. Dessutom hade regntillfälle e) relativt höga flöden under många timmar. Regntillfälle b) hade absolut kortast varaktighet, endast 16min, vilket ledde till en hög genomsnittlig intensitet och en koncentrerad flödestopp. Trots detta hade den lägst reduktionsfaktor vilket kan förklaras med den lilla regnmängden, endast 8,6 mm föll under detta tillfälle. Jämförs de två mätpunkterna för Åstorp tätort är det relativt stor skillnad mellan reduktionsfaktorerna, även om de båda ökar med ökande återkomsttid. Uppmätt flöde har alltså skiljt sig de två mätpunkterna åt vilket troligtvis beror på att avrinningsområdena uppströms har en skillnad i total och reducerad area. Det kan även även bero på lokala skillnader i regnet.

## 7.4 Hyllinge tätort

I Hyllinge tätort syntes för de tre kortaste återkomsttiderna (regntillfälle a) b) och d)) en tydlig trend där reduktionsfaktorn var relativt konstant, se figur 15. Eftersom de också hade snarlika återkomsttider (1,42 år, 1,68 år och 1,71 år), kan resultatet anses rimligt. Däremot var reduktionsfaktorn för regntillfälle e) större än för regntillfälle c) trots att c) hade den största återkomsttiden. En anledning till detta kan vara att inför det största regnet, regntillfälle c), hade det inte regnat något på flera dagar vilket ökar möjligheten för regnet att infiltrera i marken, medan det inför regntillfälle e) hade regnat 11,2 mm ungefär ett dygn innan vilket möjligtvis hade kunnat bidra till en något mer mättad mark och därmed bidragit till en ökad avrinning.

I figur 15 så syns en tydlig skillnad mellan reduktionsfaktorn för de tre mindre regnen med snarlik återkomsttid, jämfört med de två lite större regnen: de två större regnen har markant högre reduktionsfaktorer. För Hyllinge bekräftar detta originaltesen att avrinningskoefficienten är större för regn med längre återkomsttid. Det indikerar även att när modeller kalibreras för regn med kortare återkomsttid kommer flödena underskattas ifall modellen sedan belastas med ett större regn.

## 7.5 Kvidinge tätort

I Kvidinge uppnåddes en nästintill perfekt kalibrering över de olika designregnen. För de tre designregnen med kortare återkomsttid (0,68 år, 0,88 år samt 1,33 år), det vill säga regntillfälle b), c) och e), syntes de lägsta reduktionsfaktorerna, se figur 17. De två längre återkomsttiderna (4,15 år samt 5,01 år) hade större reduktionsfaktorer, även om inte skillnaden kan anses särskilt markant. Den absolut

lägsta reduktionsfaktorn återfanns för regntillfälle b). En orsak kan vara att det inte regnat på cirka tre dagar innan vilket leder till torr och infiltrationsvänlig mark. Jämförs det med regntillfälle c) som hade högre reduktionsfaktor trots kortare återkomsttid så regnade det en del bara några timmar innan vilket kan ha orsakat den högre reduktionsfaktorn. Jämförs formerna på flödestopparna för regntillfälle b) och c) kan de nästan ses som spegelbilder där regntillfälle b) har sin flödestopp tidigt och c) har sin flödestopp sent. Detta styrker ytterligare orsaken till den låga reduktionsfaktorn för regntillfälle b) (Xue & Gavin, 2008).

Jämförs istället de två regntillfällena med längre återkomsttid, tillfälle a) och d), ser flödesgraferna väldigt olika ut. Att det under regntillfälle d), trots sin kortare återkomsttid, regnar ungefär 10 mm mer än för tillfälle a) kan vara ett skäl till att d) har högre reduktionsfaktor. Vidare har tillfälle a) pauser mellan sina flödestoppar vilket kan ha gett marken möjlighet att återhämta sig från mättnad så när nästa flödestopp kommer finns möjlighet för det nya att infiltrera. Tillfälle d) har istället många toppar som kommer med liten eller ingen tids mellanrum och därmed mindre möjlighet för regnet att infiltrera djupare i marken och sjunka undan inför nästa topp, vilket alltså ger fog till att d) har högre reduktionsfaktor.

## 7.6 Jämförelse mellan regn i Åstorp kommun

Eftersom de tre tätorterna Åstorp, Hyllinge och Kvidinge alla ligger i Åstorp kommun, hade de ofta designregn på samma dagar och liknande tider. Marken i de tre tätorterna var även lika. Därmed kommer de olika designregnen nu jämföras för att se om någon trend kan hittas i hur reduktionsfaktorerna varierar.

Den 12e juli hade Åstorp ett regn med återkomsttid på 1,92 år ( $\varphi = 1,31$  för mätpunkt 1 och  $\varphi = 1,2$  för mätpunkt 2) och Kvidinge ett regn med återkomsttid 5 år ( $\varphi = 0,9$ ). Det är regnevent a) för båda platserna. Deras flödeskurvor är väldigt lika, se figur 11a och 12a för Åstorp och figur 16a för Kvidinge. Däremot regnar det 27,2 mm i Åstorp och 36,2 mm i Kvidinge. Den 9 mm större regnmängden tillsammans med den 26min längre varaktigheten för regnet i Kvidinge ledde till den längre återkomsttiden, men trots det mindre reduktionsfaktor. Vidare hade Åstorp, trots ett mindre regn, en större ackumulerad uppmätt flödesmängd för båda mätpunkterna jämfört med Kvidinge vilket förklarar den högre reduktionsfaktorn. Varför det är högre avrinning i Åstorp kan troligtvis förklaras med att avrinningsområdenas totala yta samt hårdgjorda yta är större jämfört med Kvidinge. Värt att notera är även att  $R^2$ -värdet för regnet i Åstorp bedömdes som dåligt medan det i Kvidinge noterades som mycket bra. Dock bedömdes bådas volymfel som mycket bra och det borde därför inte vara något i kalibreringen som orsakar det avvikande resultatet.

30e juli hade Hyllinge ett regn med 1,71 år som återkomsttid ( $\varphi = 1,1$ ) och Kvidinge ett regn med återkomsttid på 1,33 år ( $\varphi = 0,6$ ). Generellt så har Hyllinge högre reduktionsfaktorer för sina regn jämfört med Kvidinge, därför kan en jämförelse vara svår. Hyllinge har längre återkomsttid och större reduktionsfaktor vilket bekräftar den initiala tesen. Dock är återkomsttiderna snarlika, men trots detta skiljer sig reduktionsfaktorna åt rejält. De har dels stor skillnad i regnmängd men även i varaktighet: Hyllinges regn pågår i 7min och ger upphov till 6,4 mm medan Kvidinges regn pågår i 94 min och ger upphov till 15,4 mm. Hyllinges väldigt korta regn ger en hög genomsnittlig intensitet. En orsak till den stora avrinningen för regnet i Hyllinge kan möjligtvis vara att när regn faller väldigt intensivt hinner det inte infiltreras utan det översta marklagret blir snabbt mättat och då bildas avrinning. Kvidinges regn ger upphov till en större ackumulerad uppmätt flödesmängd vilket är rimligt eftersom det faller mer regn här, men eftersom regnet sker under längre tid hinner också en större andel infiltrera vilket förklaras med den lägre reduktionsfaktorn. En annan anledning kan vara att Hyllinges avrinningsområden är 1,2 ha större än Kvidinges, och 1,62 ha mer hårdgjord yta.

3e augusti faller det utvalda regn över samtliga tre tätorter. Kvidinge har en återkomsttid på 0,68 år ( $\varphi = 0,84$ ), Åstorp 1,33 år ( $\varphi = 0,84$  för mätpunkt 1 och  $\varphi = 0,52$ ), och Hyllinge har återkomsttid på 1,42 år ( $\varphi = 1,05$ ). Alla tre regn är relativt små och lika i sin återkomsttid, därmed är även deras reduktionsfaktorer snarlika, bortsett från mätpunkt 2 i Åstorp. En ökning av reduktionsfaktor med ökande återkomsttid kan även ses. Kvidinges regn börjar lugnt och avslutar med en flödespeak vilket kan vara anledningen till varför den har lika stor reduktionsfaktor som Åstorp.

6e augusti föll det relativt stora regn över samtliga tätorter, vilket också speglas i de höga reduktionsfaktorerna. Kvidinge har återkomsttid 4,15 år ( $\varphi = 1,1$ ), Åstorp 4,98 år ( $\varphi = 1,97$  för mätpunkt 1 och  $\varphi = 1,32$ ) och Hyllinge 11,58 år ( $\varphi = 1,54$ ). Reduktionsfaktorerna ökar med ökande återkomsttid om mätpunkt 2 i Åstorp tas i beaktning, inte om mätpunkt 1 gör det. Ackumulerad uppmätt flödesmängd är störst i Åstorp (allra störst i mätpunkt 1, därefter mätpunkt 2), därefter kommer Hyllinge och minst mängd är i Kvidinge, vilket stämmer överens med reduktionsfaktorerna ifall mätpunkt 1 i Åstorp tas i beaktning.

20e augusti föll relativt små regn i samtliga tätorter. Kvidinge har återkomsttid 0,88 år ( $\varphi = 0,83$ ), Åstorp 1,43 år ( $\varphi = 1,13$  för mätpunkt 1 och  $\varphi = 0,88$  för mätpunkt 2) och Hyllinge 1,68 år ( $\varphi = 1,12$ ). Här syns ökande reduktionsfaktorer för ökande återkomsttider, med ett litet undantag för mätpunkt 1 i Åstorp som

har aningen högre reduktionsfaktor än Hyllinge.

26e augusti föll ett regn i Hyllinge med återkomsttid 3,27 och reduktionsfaktor 1,69 samt ett regn med återkomsttid 3,52 år i Åstorp ( $\varphi = 1,7$  för mätpunkt 1 och  $\varphi = 1,24$  för mätpunkt 2). Vid jämförelse med mätpunkt 1 är reduktionsfaktorerna för Åstorp och Hyllinge nästintill likvärdiga, medan mätpunkt två har ett markant lägre värde än Hyllinge. Eftersom mätpunkt 1 och 2 skiljer sig åt såpass mycket blir en jämförelse svår att göra. Båda regnen hade i princip exakt samma längd och varaktighet, samt form på flödeskurvan. Däremot hade regnet i Åstorp högre uppmätt ackumulerat flöde vilket talar för en högre reduktionsfaktor i Åstorp.

## 7.7 Felkällor

När modeller byggs och används finns det alltid en mängd felkällor som behöver tas i beaktning eftersom antaganden och förenklingar måste göras. En modell är därmed aldrig identisk med verkligheten, även om den kan vara lik. En av de största felkällorna i detta arbete är de regn som användes i simuleringarna. De varierade inte bara i återkomsttid utan även i längd, varaktighet, genomsnittlig intensitet samt maxintensitet. För en del regn föll allt under en kort och intensiv period vilket gav upphov till en enskild flödestopp, medan det för andra regn föll med varierande intensitet under en längre tid vilket gav upphov till ett flertal flödestopp. En del regn började dessutom mer intensivt medan andra avslutades intensivt. Allt detta påverkar hur mycket avrinning som bildas och därmed också vilken avrinningskoefficient som överensstämmer bäst med verkligheten. Utöver stora variationer i de olika designregnen påverkas avrinningen även av andra faktorer. Till exempel var markens förhållanden olika innan regnet föll. Inför en del regn hade det regnat bara timmarna innan, medan det inför andra regn inte regnat på över en vecka. Därmed kan alltså långsamma flöden påverkat det uppmätta flödet. Utöver detta var även temperaturerna olika för de olika regnen. Höga temperaturer ökar avdunstningen och minskar därmed avrinningen, vilket inte togs i beaktning.

När den hårdgjorda ytan beräknades användes endast fyra olika marktyper; odlad mark, bebyggelse, skog och öppen mark samt gator och vägar. Vidare var de endast uppdelade i tre olika avrinningskoefficienter eftersom öppen mark och skog antogs ha samma infiltrationskapacitet som odlad mark. Värdena var tagna från P110 Svenskt vatten, 2019, men är endast schablonvärden. Egentligen kan avrinningen för exempelvis odlad mark skilja sig nämnvärt beroende på hur jorden ser ut och vilken topografi området har (Rezaei m. fl., 2019). När de olika marklagrena skapades utifrån kartor från Lantmäteriet upptäcktes också att de inte var särskilt

nogranna. Ett flertal ytor som betecknades byggnader innehöll också trädgårdar och andra grönytor som inte togs i beaktning, vilket kan ha påverkat resultatet.

Utöver detta så var det även brist på regn med längre återkomsttid. Det var endast två regn som hade återkomsttider längre än 10 år: Hyllinge som hade ett 11,6 års regn och Sköndal som hade ett 20 årsregn. För att kunna se hur avrinningskoefficienten varierade på riktigt stora regn hade fler regn behövts, gärna med återkomsttider på 50 och 100 år. Men eftersom det är relativt sällan som regn med så lång återkomsttid sker, ska man ha tur för att nederbörds- och flödesmätare precis då. Dessutom hade det varit fördelaktigt att ha regn som inte varierade så mycket i sin form på flödeskurvan.

När återkomsttiderna för regnen skulle beräknas användes Dahlströms ekvation som beror på regnets genomsnittliga intensitet (som i sin tur beror på varaktighet samt regnmängd) samt varaktighet. Vilken mängd som faller för ett visst regn samt hur länge det håller på är lite upp till tolkning och beror på vem som väljer ut regnen. I detta arbete försöktes regnen väljas ut på ett likvärdigt sätt där långa tidsperioder mellan nederbördsregistreringar om 0,2 mm då ansågs som två olika regn. Vilken återkomsttid ett regn får kan därför bli relativt individuellt.

## 7.8 Vidare studier

Svårigheterna i detta arbete berodde till stor del på att det är så många faktorer som påverkar avrinningskoefficienten, och återkomsttid är bara en av dem. Därmed var det svårt att veta vilka faktorer som påverkade resultatet och till vilken grad. För att få ut ett bättre resultat skulle antal påverkande parametrar behöva reduceras, eller isoleras och undersökas en och en.

Eftersom det ändå gick att dra en skiljelinje mellan reduktionsfaktorerna för små och stora regn hade det varit av intresse att utöka studien. Många fler regn hade behövt studeras, framförallt regn med längre återkomsttid. Om fler regn hade funnits hade det också varit möjligt att prioritera de regn som var lika varandra i hur flödeskurvan ser ut samt exempelvis maxintensitet för att reducera antal påverkande parametrar som ovan nämnt. Det är även rekommenderat att undersöka områden med snarlik andel hårdgjord yta för att minimera olikheterna och då kunna jämföra resultatet områdena emellan.





## 8 Slutsatser

Examensarbetet ämnade undersöka följande tre frågeställningar; hur kalibreringsprocessen ser ut för ledningsnätsmodeller i Sverige, om storleken på den hårdgjorda ytan påverkar avrinningskoefficienten samt hur avrinningskoefficienten skiljer sig beroende på vilken återkomsttid nederbörden har.

Kalibreringsprocessen ser relativt lik ut i Sverige och ofta följs Blomquist m. fl. (2016) riktlinjer för modellering som skapats tillsammans med Svenskt Vatten. De fem övergripande delarna innefattar att undersöka så de olika regnmätarna inte skiljer sig markant i uppmätt volym över tid, att välja ut 3-5 lämpliga designregn, att börja med att kalibrera in volym och form på flödestoppen och därefter nivån, och sist kalibrera flödet igen vid behov. Vanligtvis är det tid-area metoden som används där parametrarna hårdgjord yta, koncentrationtid, tid-area kurva samt initialförlust är de som modifieras.

Vid analys av storleken på de hårdgjorda ytorna för de olika områdena visades inget tydligt samband att en större hårdgjord yta gav upphov till en högre avrinningskoefficient. Slutsatsen blir att det är ett flertal andra faktorer som påverkar hur stor andel av regnet som blir avrinning utöver den hårdgjorda ytan.

Efter kalibrering och simulering så visade resultatet att i samtliga undersökta områden, Sköndal, Åstorp, Hyllinge och Kvidinge, kunde en skillnad ses i reduktionsfaktor mellan de regn som här definierats ha kort återkomsttid ( $T < 2$  år), och de som definierats ha längre ( $T > 3$  år). Därmed kan tesen att när modeller kalibreras för små regn och man sedan belastar modellen med ett stort regn, så underskattas flödena, bekräftas stämman. Däremot varierade reduktionsfaktorerna de små regnen emellan utan samband, och samma för de stora regnen för samtliga områden utom Åstorp där en tydlig ökning ses över reduktionsfaktorerna i samband med ökande återkomsttid. Därmed kan inga slutsatser dras om allmänna värden på reduktionsfaktorerna utifrån återkomsttid. Istället är den rimligaste slutsatsen att de även beror på ett flertal andra faktorer så som mätnad i mark, regnets variation, avrinningsområdenas totala yta med mer. Slutligen kan det alltså sammanfattas att det finns en generell trend med lägre reduktionsfaktorer för regn med kortare återkomsttid, och högre reduktionsfaktorer för regn med längre återkomsttid, men att det också förekommer många undantag vilket orsakas av att avrinningskoefficienten påverkas av många fler faktorer än bara återkomsttid. Fler studier med mer kvalitativ data behövs för att förstå avrinningskoefficientens variation bättre.



## 9 Referenser

- Arnell, V. (1980). Dimensionering och analys av dagvattenystem - val av beräkningsmetod. *Geohydrologiska forskningsgruppen Chalmers tekniska högskola*. [https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/179005/local\\_179005.pdf](https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/179005/local_179005.pdf)
- Beven, K. J. (2020). A history of the concept of time of concentration. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(5), 2655–2670. <https://doi.org/10.5194/hess-24-2655-2020>
- Beven, K. (2012). *TitleRainfall-runoff modelling: the primer*. Wiley-Blackwell. <https://www.vlebooks.com/Product/Index/21715?page=0&startBookmarkId=-1>
- Blomquist, D., Hammarlund, H., Härle, P., & Karlsson, S. (2016). Riktlinjer för modellering av spillvattenförande system och dagvattensystem. *Svenskt Vatten*. Hämtad 4 september 2023, från <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/produkt/riktlinjer-for-modellering-av-spillvattenforande-system-och-dagvattensystem/>
- Bygg och plantjänsten Stockholm stad. (2023). *Pågående planarbete Drevern 1*. Hämtad 25 september 2023, från <https://etjanst.stockholm.se/Byggochplantjansten/pagaende-planarbete/planarende/2020-00580>
- Clementson, I., Alenius, E., & Gustafsson, L.-G. (2020). Tillskottsvatten i avloppssystem – nya tankar om nyckeltal. *Svenskt Vatten Utveckling*. [https://www.svensktvatten.se/contentassets/534099d5f7784b499848df4da670ea7c/svu\\_rapp20\\_a13.pdf](https://www.svensktvatten.se/contentassets/534099d5f7784b499848df4da670ea7c/svu_rapp20_a13.pdf)
- DHI. (2017a). *MIKE 1D reference manual* [Available at [https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Water\\_Resources/MIKE\\_1D\\_reference.pdf](https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Water_Resources/MIKE_1D_reference.pdf)].
- DHI. (2017b). *MOUSE Runoff Reference* [Available at <https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Cities/MOUSERunoffReference.pdf>].
- DHI. (2023a). *Collection system user guide MIKE+* [Available at [https://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/Cities/MIKE\\_Plus\\_Collection\\_System.pdf](https://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/Cities/MIKE_Plus_Collection_System.pdf)].
- DHI. (2023b). *MIKE+ product flyer* [Available at <https://www.mikepoweredbydhi.com/download/product-documentation#filters={C6825579-8AFF-4F2E-9BC0-4C79A05E6B84}&c={9C84B9E1-0E5E-4D93-9355-DDA963D938CA}&o=asc&prefilter={79E8A24B-1EAC-4A6C-A678-999EE0D8865A}|{8BEDA1F4-1938-4FC7-AD3F-D2A6FFC8E7AA}|{9A70C578-9030-44CD-8B58-0A7D9369B9FB}|{6174231F-96A9-4DFD-B62E-595C173BDC1A}>].
- DHI. (2023c). *Model manager user guide MIKE+* [Available at [https://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/Cities/MIKE\\_Plus\\_Model\\_Manager.pdf](https://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/Cities/MIKE_Plus_Model_Manager.pdf)].

- DHI. (u.å.). *Time series types*. Hämtad 15 november 2023, från [https://doc.mikepoweredbydhi.help/webhelp/2019/MIKESHE/MIKE\\_SHE\\_online/Working\\_with\\_TS/Time\\_Series\\_Types.htm](https://doc.mikepoweredbydhi.help/webhelp/2019/MIKESHE/MIKE_SHE_online/Working_with_TS/Time_Series_Types.htm)
- Freeman, T. (1991). Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. *Computers Geosciences*, 17(3), 413–422. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(91\)90048-I](https://doi.org/10.1016/0098-3004(91)90048-I)
- Granlund, B., & Nilsson, D. (2000). *Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av avloppsmodeller*. Hämtad 4 september 2023, från <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/produkt/matningar-i-avloppsnat-samt-principer-for-verifiering-av-avloppsmodeller/>
- Guan, M., Sillanpää, N., & Koivusalo, H. (2015). Storm runoff response to rainfall pattern, magnitude and urbanization in a developing urban catchment. 30(4), 543–557. <https://doi.org/10.1002/hyp.10624>
- Gustafsson, L.-G., & Olsson, R. (1991). Indirekt nederbördspåverkan i duplikata spillvattensystem - Metodik för flödessimulering. *Byggforskningsrådet Göteborgs Universitet*. [https://gupea.ub.gu.se/bitstream/handle/2077/47994/gupea\\_2077\\_47994\\_1.pdf?sequence=1/](https://gupea.ub.gu.se/bitstream/handle/2077/47994/gupea_2077_47994_1.pdf?sequence=1/)
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. (2023). Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. I *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (s. 1513–1766). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.013>
- Lantmäteriet. (u.å.). *Öppna data*. Hämtad 21 november 2023, från <https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/oppna-data/>
- Larsson, J. (2010). Metodik för beräkning av anslutna hårdgjorda ytor till spillvattennätet. *Examensarbete Uppsala Universitet*.
- Miljöbarometern, Stockholms stad. (2023). *Stockholms skyfallsmodell*. Hämtad 4 september 2023, från <https://miljobarometern.stockholm.se/klimat/klimatanpassning/skyfall/stockholms-skyfallsmodellering/>
- MSB. (2017). *Vägledning för skyfallskartering*. Hämtad 25 september 2023, från <https://rib.msb.se/filer/pdf/28389.pdf>
- Nagelkerke, N. J., m. fl. (1991). A note on a general definition of the coefficient of determination. *biometrika*, 78(3), 691–692.
- NSVA. (u.å.). *Om NSVA*. Hämtad 27 oktober 2023, från <https://www.nsva.se/om-nsva/foretaget/om-nsva/>
- Rezaei, A. R., Ismail, Z. B., Niksokhan, M. H., Ramli, A. H., Sidek, L. M., & Dayarian, M. A. (2019). Investigating the effective factors influencing surface runoff generation in urban catchments—A review. *Desalination Water Treat*, 164, 276–292.

- Salomonsson, M., Larsson, M., Karlsson, S., Alexandersson, H., & Andreasson, M. (2017). Beredningsplanering för skyfall. *Svenskt vatten utveckling*, 21(03). [https://www.svensktvatten.se/contentassets/9fda8707312944ba8968f374e54c418a/svu-rapport\\_2017-03.pdf](https://www.svensktvatten.se/contentassets/9fda8707312944ba8968f374e54c418a/svu-rapport_2017-03.pdf)
- Shuster, W. D., Bonta, J., Thurston, H., Warnemuende, E., & Smith, D. R. (2005). Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. *Urban Water Journal*, 2(4), 263–275. <https://doi.org/10.1080/15730620500386529>
- Skougaard Kaspersen, P., Høegh Ravn, N., Arnbjerg-Nielsen, K., Madsen, H., & Drews, M. (2017). Comparison of the impacts of urban development and climate change on exposing European cities to pluvial flooding. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(8), 4131–4147. <https://doi.org/10.5194/hess-21-4131-2017>
- SMHI. (2021). *Återkomsttider*. Hämtad 6 september 2023, från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/extremer/aterkomsttider-1.89085>
- SMHI. (2022). *Hur mäts nederbörd?* Hämtad 17 oktober 2023, från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/regn/hur-mats-nederbord-1.637>
- SMHI. (2023a). *Skyfall*. Hämtad 4 september 2023, från <https://www.klimatanpassning.se/klimatanpassa/vagledning-for-klimatanpassning/hantera-risker/skyfall-1.89213>
- SMHI. (2023b). *Skyfall och rotblöta*. Hämtad 2 oktober 2023, från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/regn/skyfall-och-rotblota-1.17339>
- Stockholm Vatten och Avfall. (2015). *Stockholms framtida avloppsrening: Ledningsnät- spillvatten*. Hämtad 4 september 2023, från <https://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/sfasajten/pdf/tillstandsansokan/bilaga-c/bilaga-c-teknisk-beskrivning-ledningsnat-spillvatten.pdf>
- Stockholm Vatten och Avfall. (2019). *VA-policy*. Hämtad 4 september 2023, från <https://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/pdf/riktlinjer/va-policy.pdf>
- Svenskt vatten. (2018). *Skyfallens ABC*. Hämtad 2 oktober 2023, från [https://www.svensktvatten.se/globalassets/rornat-och-klimat/skyfallensabc-sartryck-stadsbyffnad\\_2\\_2018.pdf](https://www.svensktvatten.se/globalassets/rornat-och-klimat/skyfallensabc-sartryck-stadsbyffnad_2_2018.pdf)
- Svenskt vatten. (2019). *Publikation P110*. Hämtad 4 september 2023, från <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/produkt/p110-del-1-avledning-avdag-dran-och-spillvatten/>
- Svenskt vatten, DHI, SMHI. (2020). *Nederbördsstatistik för dimensionering av dagvattensystem*. Hämtad 6 september 2023, från [https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2020/05/Svenskt\\_Vatten\\_M148.pdf](https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2020/05/Svenskt_Vatten_M148.pdf)
- Wang, J., Fisher, B. L., & Wolff, D. B. (2008). Estimating Rain Rates from Tipping-Bucket Rain Gauge Measurements. *Journal of Atmospheric and*

- Oceanic Technology*, 25(1), 43–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.1175/2007JTECHA895.1>
- von Scherling, M., Hammarlund, H., Blomquist, D., & Siegwang, L. (2020). *Dokumentation vid modellering av avloppsledningsnät*. Hämtad 8 januari 2024, från <https://vattenbokhandeln.svenskvatten.se/wp-content/uploads/2021/03/svu-rapport-2020-15.pdf>
- Xue, J., & Gavin, K. (2008). Effect of Rainfall Intensity on Infiltration into Partly Saturated Slopes. *Geotechnical Geological Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10706-007-9157-0>