

# Grönområdets och designregns påverkan på avrinningskoefficienter för dimensionering av dagvattenanläggningar

## Effects of green areas and design rains on runoff coefficients for design of stormwater facilities



Thomas Larm<sup>1</sup>, Anna Wahlsten<sup>1</sup>, Johan Kjellin<sup>2</sup>, Sara Ekeroth<sup>3</sup>, Jimmy Olsson<sup>4</sup>, Ico Broekhuizen<sup>5</sup>

<sup>1</sup> StormTac, Närkesgatan 8, 116 40 Stockholm, thomas.larm@stormtac.com, anna.wahlsten@stormtac.com

<sup>2</sup> Tyréns, Sturegatan 4, 784 31 Borlänge, johan.kjellin@tyrens.se

<sup>3</sup> Tyréns, Kungsängsgatan 5A, 1tr, 753 22 Uppsala, sara.ekeroth@tyrens.se

<sup>4</sup> Tyréns, Prästgatan 51, 831 34 Östersund, jimmy.olsson@tyrens.se

<sup>5</sup> Luleå Tekniska Universitet, 97187 Luleå, ico.broekhuizen@ltu.se

### Abstract

The effects of green areas on design flow ( $Q_{dim}$ ) and required flow detention volume ( $V_d$ ) were studied for different transport times, rain durations and rain intensities. The StormTac Web model was used for the calculations on a 36 ha urban catchment with green areas. Simulated runoff coefficients from different rain intensities and rain durations were used as input data, as well as new functions from literature data. The effects of 9 calculation cases were studied, where the following factors resulted in greater to smaller impact: (1) Return time; (2) Green areas, generally; (3) Average runoff coefficient, general uncertainty; (4) Functions impermeability-runoff coefficient; (5) Climate factor; (6) Linear function for green areas, rain intensity; (7) The Curve number method; (8) Rural and urban function, rain intensity and (9) Rain intensity. The same order of impact was valid for  $V_d$  except for the Curve number method which gives the 3rd largest and Rural and urban function the 5th largest impact. The variation of different specific assumptions regarding green areas and runoff coefficients gave  $Q_{dim} = 1\ 600\text{--}2\ 700$  l/s and  $V_d = 530\text{--}3\ 600$  m<sup>3</sup>, so the assumptions made in the calculations have a clear impact. The new functions for which the runoff coefficients are not static but varying with rain intensity and rain durations are recommended for further studies.

**Key words:** design flow detention volume runoff coefficients rain intensity

### Sammanfattning

Gröna ytors påverkan på dimensionerande flöden ( $Q_{dim}$ ) och erforderlig fördröjningsvolym ( $V_d$ ) studerades vid olika rinntider, regnvaraktigheter och regnintensiteter. Dagvatten- och recipientmodellen StormTac Web användes för beräkningarna på ett 36 ha stort urbant avrinningsområde med grönytor. Modellerade avrinnings-

koefficienter från olika regnintensiteter och regnvaraktigheter användes som indata, liksom nya samband baserade på data från litteraturstudier. Påverkan av 9 beräkningsfall med olika antaganden simulerades, där följande i storleksordning gav störst till minst påverkan på  $Q_{\text{dim}}$ : (1) Återkomsttid; (2) Grönytor, generell; (3) Genomsnittlig avrinningskoefficient, generell osäkerhet; (4) Samband impermeabilitet-avrinningskoefficient; (5) Klimatfaktor; (6) Linjär funktion för grönytor, regnintensitet; (7) Kurvnummer-metoden, (8) Rural och urban funktion, regnintensitet och (9) Regnintensitet. Samma påverkansordning gällde för  $V_d$  utom för Kurvnummer-metoden med 3e största och Rural och urban funktion med 5e största påverkan. Variationen av olika specifika antaganden kring gröna ytor och avrinningskoefficienter gav  $Q_{\text{dim}} = 1\ 600\text{--}2\ 700\ \text{l/s}$  och  $V_d = 530\text{--}3\ 600\ \text{m}^3$ , så det spelar stor roll vilka antaganden som görs. De nya sambanden för vilka avrinningskoefficienterna inte är statistiska utan varierande med regnintensitet och regnvaraktighet rekommenderas att utredas vidare.

## Introduktion

Generellt bedöms en stor andel av äldre befintliga separata dagvattenledningar i Sverige vara dimensionerade för ett 2-årsregn. Sedan dess har det förtätats i många av dessa områden och i många fall utan att anlägga motsvarande erforderliga fördröjningsåtgärder eller åtgärder för att öka kapaciteten i mottagande ledningsnät. Detta samt klimatpåverkan medför att många ledningar idag inte ens klarar 2-årsregnet som det var beskaffat då, vilket ökar risken för alltmer frekventa översvämningar.

I många fall har, i brist på kunskap och data, de dimensionerande flödena inte beräknats med hänsyn till bidrag från gröna ytor, som ibland kan bidra till ökade flöden vid dimensionerande regn. Gröna ytors bidrag till ökade dimensionerande flöden beror på markförhållanden (Broekhuizen et al., 2019), markmättnad (Davidsen et al., 2018) och rinnsträckor med olika påverkan beroende på vilken rinntid som blir dimensionerande för flöden i ledningen och vilken regnvaraktighet som blir dimensionerande för en fördröjningsanläggning. För olika grönytor blir det olika faktorer som blir dimensionerande, något som det normalt ej har tagits hänsyn till vid dimensioneringen. Utöver olika antaganden för grönytor i området finns det flera andra faktorer som kan påverka beräknad dimensionerade flöde, däribland val av återkomsttid, klimatfaktor, och sättet att bestämma regnintensiteten. Det är dock oklart hur stor påverkan de olika faktorerna har relativt varandra, och därför är syftet med denna artikel att utreda detta.

Denna studie genomfördes inom det Vinnova-finansierade projektet SECURE i ett samarbete mellan

StormTac, Tyréns och Luleå tekniska universitet. I en litteraturstudie (Larm et al., 2023) jämfördes vanligen använda beräkningsmetoder och dimensionerande regn samt återkomsttider och klimateffekter, avseende deras påverkan på dimensionering av transportsystem och dagvattenanläggningar för flödesutjämning. Litteraturstudien kom fram till att avrinningskoefficienten är den mest osäkra parametern som även slår mest på resulterande dimensionerande flöde och erforderlig fördröjningsvolym. Förslag togs fram på nya avrinningskoefficienter inklusive en ny föreslagen metod för beräkning av avrinningskoefficienter som funktion av återkomsttid (år) respektive regnintensitet (l/s/ha), den senare specifikt för regnvaraktigheterna 10 och 15 min. Både den föreslagna beräkningsgången och de data som användes för de föreslagna sambanden mellan regnintensitet och avrinningskoefficienter från litteraturstudien utreddes vidare avseende hur regnintensitet och andra faktorer påverkar avrinningskoefficienten. Särskilt studerades påverkan av gröna ytors bidrag vid olika regnvaraktigheter och regnintensiteter, vilket redovisas i denna artikel tillsammans med en jämförelse av andra påverkande faktorer och beräkningsfall (metoder). Utöver litteraturdata över avrinningskoefficienter från grönytor har även nya avrinningskoefficienter för avrinning från parkytor använts från en hydraulisk markmodelleringsstudie av Tyréns (Kjellin et al., 2023).

Nackdelen med att använda återkomsttider istället för regnintensiteter som grund för en funktion för anpassning av avrinningskoefficienter är att återkomsttider förändras och regnintensiteter för en viss återkomsttid är olika för olika länder eller regioner. Därför har avrinningskoefficienten som funktion av

regnintensiteten och inte återkomsttiden valts att studeras här. I denna artikel kompletteras litteraturstudien (Larm et al., 2023) med en studie av mer data och påverkan på avrinningskoefficienterna av inte bara olika regnintensiteter utan även olika dimensionerande regnvaraktigheter och indirekt grönytors vattenmättnadsgrad. Enligt en rapport av Blomquist et al. (2016) ökar avrinningskoefficienten för icke hårdgjorda ytor, såsom gräs och skog, vid extrem nederbörd till ett värde inom 0,2–0,8 beroende på topografi (marklutning). För urbana grönytor kan det därför vara lämpligt att välja en högre avrinningskoefficient vid längre regnvaraktigheter och om marken är odränerad, ogenomsläpplig eller mättad.

Arbetet har finansierats av VINNOVA-projektet SECURE (dnr. 2021-02458). SVOA har bidragit med underlagskarta i GIS-format för avrinningsområdet Fagersjö.

## Metodik

Den första delen av denna artikel syftar till att ta fram ett samband mellan avrinningskoefficient och regnintensitet samt regnvaraktighet. Som indata användes resultat från simuleringar i HYDRUS-1D av Tyréns (Kjellin et al., 2023) med svenska blockregn (Dahlström, 2010) och 36 olika parkjordar inom jordtypen lerig sand (en sandjord med inslag av silt och lera). HYDRUS-1D är en hydraulisk markmodell som kan simulera mättade och omättade flöden i ett poröst medium (Šimůnek et al., 2009). För denna studie har HYDRUS-1D använts till att modellera infiltrationen i en markprofil samt kvantifiera hur stor andel av nederbörden som faller på en urban parkyta som ytavrinner. Avrinningskoefficienter beräknades för olika återkomsttider (2, 10, 20, 50 och 100 år) och regnvaraktigheter (10 min, 1 h, 2 h, 6 h, 12 h, 24 h och 96 h). Regnintensiteter beräknades med Dahlström (2010) för varaktigheter kortare än 24 h. För regn med varaktighet 24 h och 96 h användes istället Dahlström (1979) där Z-parametern antogs vara 18. För närmare beskrivning av modelleringsmetodik i HYDRUS-1D, se artikel (Kjellin et al., 2023) i detta nummer av Vatten.

I den andra delen av artikeln utvärderades effekten av nio olika faktorer för beräkningar av dimensionerande flöde och erforderlig fördröjningsvolym. Nedan

ges en kortfattad beskrivning av de faktorer (beräkningsfall med olika antaganden) som utretts, och med angivande av eventuell "standardvärde" som använts när andra faktorer testats:

**(1) Återkomsttid.** Normalt använda dimensionerande återkomsttider i Norden; 2, 5, 10 (standardvärde) och 100 år (Larm et al., 2023).

**(2) Grönytor, generellt.** Variationen av avrinningskoefficienter på grönytor från Blomqvist et al. (2016) applicerades på tre fall, varav två fall med antagandet att grönytor från hela området bidrar men med olika avrinningskoefficienter för grönytorna ( $\varphi_d = 0,10$  och  $0,80$  för alla grönytor) samt ett tredje fall att grönytor längst uppströms ej bidrar men där  $\varphi_d = 0,10$  används för grönytorna inom området.

**(3) Genomsnittlig avrinningskoefficient, generell osäkerhet.** En antagen bedömd generell osäkerhet på beräknad avrinningskoefficient för avrinningsområden på 20 % används, enligt uppskattning av Wu et al. (2021). För beräkning av  $Q_{dim}$  används värden utan grönytor längst uppströms och för beräkning av  $V_d$  används värden inkl. grönytor längst uppströms.

**(4) Impermeabilitet – avrinningskoefficient.** Impermeabilitet är andel impermeabel (hårdgjord) yta i avrinningsområdet och detta beräknas ge viss avrinningskoefficient, beroende på vald metod för att konvertera impermeabilitet till avrinningskoefficient. Andel hårdgjorda ytor (impermeabilitet) har beräknats genom att simulera området i SCALGO Live. Tre olika samband mellan impermeabiliteten och beräknad avrinningskoefficient användes för att få fram en variation (StormTac, 2023; Larm et al., 2023). Ett fjärde fall med antagen avrinningskoefficient  $0,85$  för hela hårdgjorda ytan beräknades också (för vilket inga grönytor simulerades).

**(5) Klimatfaktor.** Normalt använda klimatfaktorer i Norden;  $1,0$ ,  $1,25$  (standardvärde) och  $1,4$  (Larm et al., 2023).

**(6) Linjär regression grönytor, regnintensitet.** Antagande att gröna ytor består av lerig sand och att den linjära funktionen från Figur 4 används, utan anpassning till regnvaraktighet.

**(7) Kurvnummer-metoden.** Den internationellt vedertagna kurvnummermetoden (CN) tillämpas här (USDA-SCS, 1986) för att få fram de avrinningskoeff-

ficienter som visas i tabellen och därefter använts i StormTac Web. Den ger beräknad avrinning för dimensionerande regndjup (mm) för olika s.k. CN-kurvor som representerar olika jordarter. För jämförelse med den antagna jordtypen lerig sand (inom jordklass A/B) antogs de liknande jordtyperna fin sand och silt med låg respektive hög kompaktion som används i SCALGO Live (SCALGO, 2023), vilket ger CN-kurvor som bedömts representera jorden för grönytor. Standard kurvnummer för antagna jordtyper användes enligt tabeller i SCALGO (2023), liksom beräkningar från ekvationerna för kurvnummer-metoden. CN-värdena visas i Tabell 4–5.

**(8) Rural och urban funktion, regnintensitet.** Generella funktioner framtagna i Larm et al. (2023) för rurala resp. urbana ytor användes för beräkning av avrinningskoefficienter från regnintensiteter.

**(9) Regnintensitet.** Undersökning av påverkan enbart av förändring i dimensionerande regnintensiteter (l/s/ha) som kan användas för platsen för fallstudien vilket i detta fall avser data för hela Sverige enligt P110 (Svenskt Vatten, 2016; Dahlström, 2010) respektive nya regionsspecifika data som planeras att användas från Svenskt Vatten och SMHI (2020). Data från sydöstra Sverige användes i det senare fallet. Som standardvärden för övriga faktorer användes data för hela Sverige. Dessa data över regnintensiteter sammanställs i Larm et al. (2023) med beräkningar för aktuella rinn-tider och regnvaraktigheter.

Även de nya samband som tagits fram i arbetet med denna artikel har därmed inkluderats bland de utvärderade faktorerna (beräkningsfall 6 och 7), för att jämföra med resultaten från andra faktorer. Dessa nya samband innefattar avrinningskoefficienten som funktion av regnintensitet (och regnvaraktighet), något som traditionellt inte inkluderas i Rationella metoden men nämns i Svenskt Vatten P110 (Svenskt Vatten, 2016).

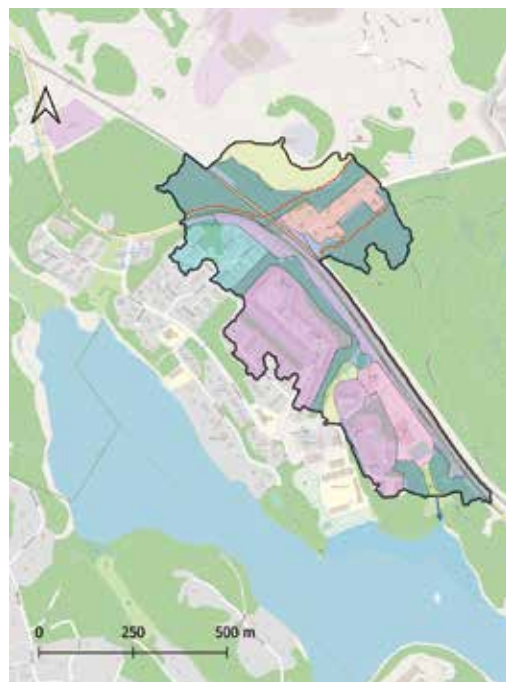
Dagvatten- och recipientmodellen StormTac Web (StormTac, 2023) användes för att beräkna dimensionerande flöden och erforderlig fördröjningsvolym för ett 36 ha stort avrinningsområde söder om Stockholm. Modellen beräknar dimensionerande flöden enligt den Rationella metoden och beräknar den maximala fördröjningsvolymen som erfordras, vid dimensionerande

regnvaraktighet och valt utflöde. I beräkningen av fördröjningsvolym tas även hänsyn till rinn-tidens fördröjande effekt enligt P110 (Svenskt Vatten, 2016), samt klimatfaktorer, olika återkomsttider på dimensionerande regn och reducerande flödesfaktorer med hänsyn till vattennivån i anläggningen i relation till dess utflöde. Beräkningarna inkluderar direkt nederbörd på anläggningsytan (StormTac, 2023). I modellberäkningarna ändrades en faktor åt gången medan övriga faktorer använde respektive standardvärde som anges ovan och i tabellerna nedan.

### Fallstudie

För ett delavrinningsområde till sjön Magelungen beläget i Fagersjö i Stockholms stad (Figur 1) beräknades dimensionerande flöden och erforderlig fördröjningsvolym för dagvattnet från området. Beräkningarna utfördes med StormTac Web, v23.3.1.

Avrinningsområdet för fallstudien visas i Tabell 1, med avrinningskoefficienter och area (ha) per markanvändning för området utan respektive med naturmark längst uppströms i området. Det är vedertaget att



Figur 1. Delavrinningsområdet till sjön Magelungen från SVOAs dagvattenmodell, 2022. Röda streck = vattendelare för ej bidragande naturmark vid  $Q_{dim}$ . Blå pil = dagvattenutlopp. Bakgrundskarta © OpenStreetMap contributors

Tabell 1. Dimensionerande avrinningskoefficienter ( $\varphi_d$ ) och area per markanvändning (ha) inom fallstudiens avrinningsområde.

Markanvändning	$\varphi_d$	Avrinningsområdet exkl. ej bidragande naturmark [ha]	Hela avrinnings- området [ha]
Väg 1 (Magelungsvägen)	0,85	0,44	0,44
Villaområde	0,35	2,0	2,0
Radhusområde	0,40	2,7	2,7
Flerfamiljshusområde	0,45	9,8	9,8
Centrumområde	0,70	2,1	2,1
Parkmark	0,10	3,7	3,7
Skogsmark	0,10	5,8	11,2
Banvall	0,50	0,67	0,67
Blandat grönområde	0,10	0,87	3,3
<b>Totalt</b>		<b>28</b>	<b>36</b>
Reducerad avrinningsyta ( $ha_{red}$ )		9,5	9,7
Dim. avrinningskoefficient		0,34	0,28

naturmark längst uppströms i området inte ger de högsta (dimensionerande) flödena med hänsyn till längre rinntid med lägre regnintensitet som följd. Dock blir dagvatten från hela området ofta dimensionerande för erforderlig fördröjningsvolym, speciellt när långa regnvaraktigheter blir dimensionerande (vilket blir fallet med mer kraftigt strypta utflöden, såsom valts i detta fall). Övriga dimensionerande indata visas i Tabell 2.

Utflödet 320 l/s har valts utifrån att det utgör

Tabell 2. Övriga dimensionerande indata.

Flödesreduktionsfaktor	2/3
Utflöde ( $Q_{out}$ )	320 l/s
Klimatfaktor	1,25
Dimensionerande rinnsträcka (för bägge fallen i Tabell 1)	1 070 m

beräknad naturmarksavrinning för hela området före exploateringen av området, enligt en empirisk funktion från P110 (Svenskt Vatten, 2016), implementerad i StormTac Web. Flödesreduktionsfaktorn 2/3 användes för att simulera ett utflöde genom bottenutlopp från t.ex. en torr damm, utan pumpat utflöde och utan flödesregulator. Det blir ett hypotetiskt scenario med tanke på att området dels varit bebyggt länge, dels för att utflöde till sjön inte behöver fördröjas så mycket som antagits.

## Resultat

Nedan beskrivs inledningsvis grönytors påverkan på beräkningarna, vilket utreds mer detaljerat än övriga

markanvändningars påverkan i denna artikel.

### Avrinningskoefficienten från grönytor som funktion av regnintensitet och regnvaraktighet inkl. markmättnad

Nedan redovisas resultat av simuleringar avseende dimensionerande avrinningskoefficient utförda av Tyréns 2023 (Kjellin et al., 2023) från olika parkjordar inom kategorin lerig sand (eng. sandy loam) för blockregn med olika regnintensitet, regnvaraktighet och återkomsttid. Avrinningskoefficienter från Tyréns simuleringar redovisas i Tabell 3 och i Figur 2 redovisas kurvor över resultaten. Diagrammet i Figur 2 visar att olika regnintensitet och varaktighet ger olika resulterande avrinningskoefficienter. Utifrån dessa data har funktioner tagits fram som beskriver sambandet mellan regnintensitet och avrinningskoefficient. De varaktighetsspecifika funktionerna bygger på blockregn och kan användas i kombination med den Rationella metoden.

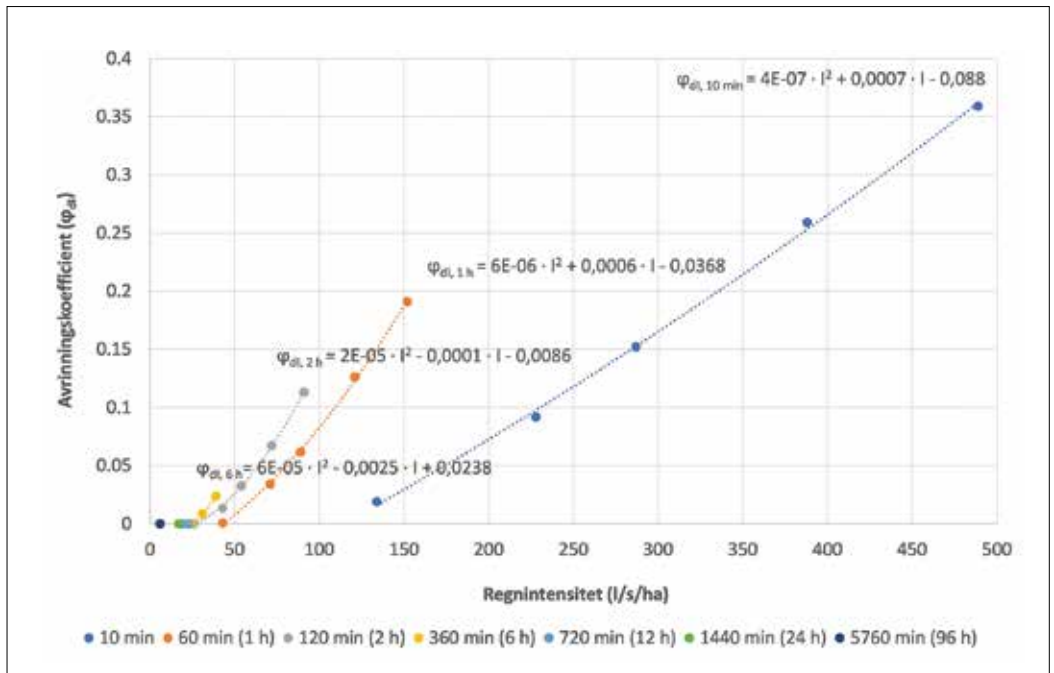
$\varphi_{dI}$  Dimensionerande avrinningskoefficient  $\varphi_d$  som funktion av regnintensitet I

I Regnintensitet (l/s/ha)

$t_r$  Regnvaraktighet (min)

I Figur 2 medtogs första nollan från Tabell 3 för respektive varaktighet som innehåller nollor. Nollresultaten visar att för lägre regnintensitet sker ingen avrinning. Funktioner för beräknad avrinningskoefficient ( $\varphi_{dI}$ ) visas för regnvaraktigheterna 10 min, 1 h, 2 h och 6 h, med bra passning till data ( $R^2=0,997-0,999$ ). För 12 h (720 min) fanns endast 1 värde på

Figur 2. Resultaten från Tyréns simuleringar av avrinningskoefficienter för parktytor av typen lerig sand, för olika regnintensiteter (I, l/s/ha) och regnvaraktigheter ( $t_r$ , min). Avrinningskoefficienterna är genomsnittsvärdet för de 36 simulerade jordarna.



avrinningskoefficient nära 0 (Tabell 3). För de längsta simulerade varaktigheterna 1440 min (24 h) och 5760 min (96 h) beräknas ingen avrinning ske ( $\varphi_{dI} = 0$ ).

Figur 2 visar också att avrinningskoefficienten blir ungefär densamma för ett lite kraftigare regn med intensiteten 71 l/s/ha vid 60 min regnvaraktighet som för ett mindre kraftigt regn med intensiteten 54 l/s/ha vid 120 min varaktighet. Detta trots att avrinningskoefficienten normalt ökar vid intensivare regn. Förklaringen är att mättnadsgraden ökar vid längre varaktighet (120 min), vilket minskar infiltrationskapaciteten.

I Figur 3 jämförs Tyréns simulerade avrinningskoefficienter för 10 minuters regnvaraktighet med avrinningskoefficienter från en dimensioneringsmanual för City of Woodland i Colorado, USA (City of Woodland Park, 2014), för en typ av jord (A&B-jord) som faller inom samma typ av jord som simulerades av Tyréns och som i Colorado används för beräkningar med Rationella metoden. Samma jämförande data finns i StormTac databas och har erhållits från litteraturstudier. Jämförelsen visar på liknande avrinningskoefficienter och att de följer ungefär samma samband mot

regnintensiteten, men med lite lägre avrinningskoefficienter vid lägre regnintensiteter respektive lite högre avrinningskoefficienter vid högre regnintensiteter för City of Woodland.

Diagrammet i Figur 4 visar två alternativa funktioner för beräkning av avrinningskoefficient  $\varphi_{dI}$  som funktion av regnintensitet I, som ett försök att få fram och analysera en mer generell funktion mellan avrinningskoefficient och regnintensitet. De har bägge passningen  $R^2=0,87$  mot data, vilket blev sämre än passningen för kurvorna i Figur 2. Det är tydligt att regnvaraktigheten behöver inkluderas för att få en bättre passning och för att inkludera markmättnadens och regnvaraktighetens inverkan. Avrinningskoefficienten beror alltså av de två variablerna regnintensitet och regnvaraktighet.

Ett försök utfördes även att ta fram en linjär multivariat regressionsfunktion för beräkning av avrinningskoefficient för både regnintensitet och regnvaraktighet utifrån Tyréns modellberäkningar. En multivariat linjära regressionsanalys baseras på "minsta kvadrat"-metoden för att anpassa en linje genom en

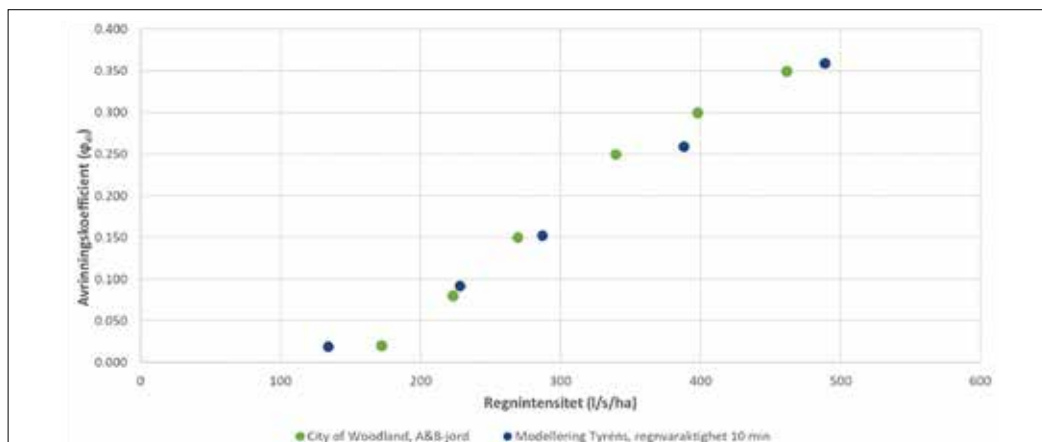
**Tabell 3.** Resultat från Tyréns simuleringar av dimensionerande avrinningskoefficienter som funktion av regnintensitet ( $\varphi_{dI}$ ) för parktytor (genomsnitt för de 36 olika jordarna) för olika återkomsttider (N, år), regnintensiteter (I, l/s/ha) och regnvaraktigheter ( $t_r$ , min).

N (år)	I (l/s/ha)	$t_r$ (min)	$\varphi_{dI}$
2	134	10	0,019
2	43	60	0,00072
2	26	120	0
2	12	360	0
2	8	720	0
2	4	1440	0
2	1	5760	0
10	228	10	0,092
10	71	60	0,034
10	43	120	0,014
10	19	360	0
10	12	720	0
10	7	1440	0
10	2	5760	0
20	287	10	0,15
20	89	60	0,062
20	54	120	0,033
20	24	360	0,00015
20	14	720	0
20	9	1440	0
20	3	5760	0
50	388	10	0,26
50	121	60	0,13
50	72	120	0,067
50	31	360	0,0087
50	19	720	0
50	12	1440	0
50	5	5760	0
100	489	10	0,36
100	152	60	0,19
100	91	120	0,11
100	39	360	0,024
100	23	720	0,000054
100	17	1440	0
100	6	5760	0

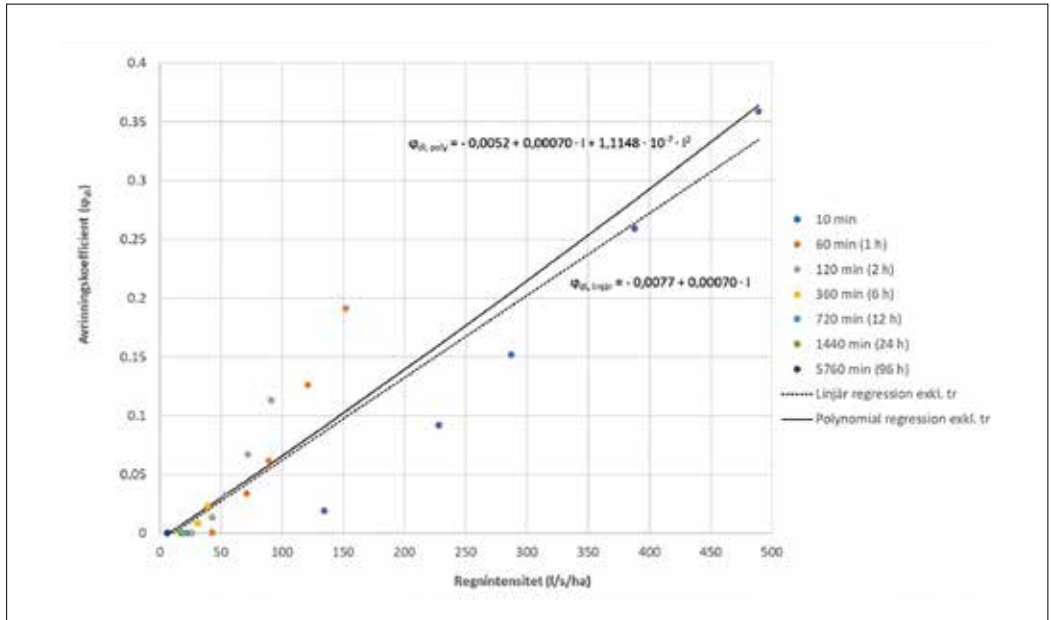
observationsmängd. Genom detta analyserades hur variabeln avrinningskoefficient ( $\varphi_{dI}$ ) påverkas av variabelerna regnintensitet (I) och regnvaraktighet ( $t_r$ ). Modellerade avrinningskoefficienter som funktion av regnintensitet (l/s/ha) för olika regnvaraktigheter (min) från Tyréns användes som indata i simuleringarna. Data inkluderar på så vis markmättnadens påverkan där avrinningskoefficienten ökar med ökande markmättnad, d.v.s. även med ökad regnvaraktighet. En relativt stor spridning (osäkerhet) erhålls när hänsyn inte tas till skilda varaktigheter, men det kvarstår ändå ett samband mellan ökad regnintensitet och ökad avrinningskoefficient, vilket förväntades. Funktionen gav att regnintensiteten I fick större påverkan på beräknad avrinningskoefficient  $\varphi_{dI}$  än regnvaraktigheten  $t_r$ . Enligt regressionsanalysen blev p-värdet för variabeln regnvaraktighet 0,96, vilket indikerar att den uppskattade effekten av variabeln regnvaraktighet inte går att skilja från slumpmässig variation. Därför kunde parametern  $t_r$  tas bort från sambandet och då erhöles den linjära funktion som redovisas i Figur 4. Den polynomiala funktionen i figuren gav marginellt bättre passning mot data och lite högre avrinningskoefficienter, särskilt vid högre regnintensitet.

Att regnvaraktigheten i den linjära multivariata funktionen hade en mycket liten betydelse jämfört med regnintensiteten på beräknad avrinningskoefficient beror på att regnintensitet och regnvaraktighet inte är oberoende variabler i datamängden som anpassningen

**Figur 3.** Jämförelse mellan resultaten från Tyréns simuleringar av avrinningskoefficienter för 10 minuters regnvaraktighet för lerig sand med resultat från City of Woodland för A&B-jord.



Figur 4. Resultat från modellerna med jordtypen lerig sand som använts i simuleringen av Tyréns, men kompletterad med genomförd linjär respektive polynomial regressionsanalys exkl. regnvaraktighet,  $t_r$



är utförd på. Detta då Tyréns endast har simulerat blockregn enligt Dahlströms intensitets- och varaktighetssamband, vilket innebär att varaktigheten indirekt definieras av intensiteten och återkomsttiden.

Vi rekommenderar därför att använda funktionerna från kurvorna från Figur 2 som bäst fångar sambanden mellan avrinningskoefficient, regnintensitet och varaktighet. De behöver kompletteras med fler funktioner för fler regnvaraktigheter för att kunna användas direkt i beräkningar av dimensionerande flöden och erforderlig fördröjning eftersom de bara visar exempel på avrinningskoefficienter vid några specifika regnvaraktigheter. Vilka specifika regnvaraktigheter som blir dimensionerande beror på beräknad rinntid avseende dimensionerande flöden och den regnvaraktighet som ger max fördröjningsvolym.

### Avrinningskoefficienten från övriga ytor som funktion av regnintensitet

Ekvationerna 1-3 från Larm et al. (2023), som redovisas nedan, föreslås användas tills vidare för att beräkna avrinningskoefficienten utifrån angiven regnintensitet (I) för andra rurala och urbana markanvändningstyper än gröna ytor med lerig sand. De är

framtagna utifrån metodik beskriven av Dhakal et al. (2013), med kompletterande data från Larm et al. (2023). De har beräknats utan funktion av regnvaraktighet, vilket rekommenderas utredas vidare så att regnvaraktigheten inkluderas även för dessa samband. Rurala områden avser en mer generell naturmark som kan anpassas för olika dimensionerande avrinningskoefficienter för naturmark, normalt kring 0,10 (0,02-0,50). Dessa värden utgör bedömda normala variationer för grönytor enligt data i StormTac Databas (StormTac, 2023) och enligt Larm et al. (2023).

Rurala områden (naturmark):

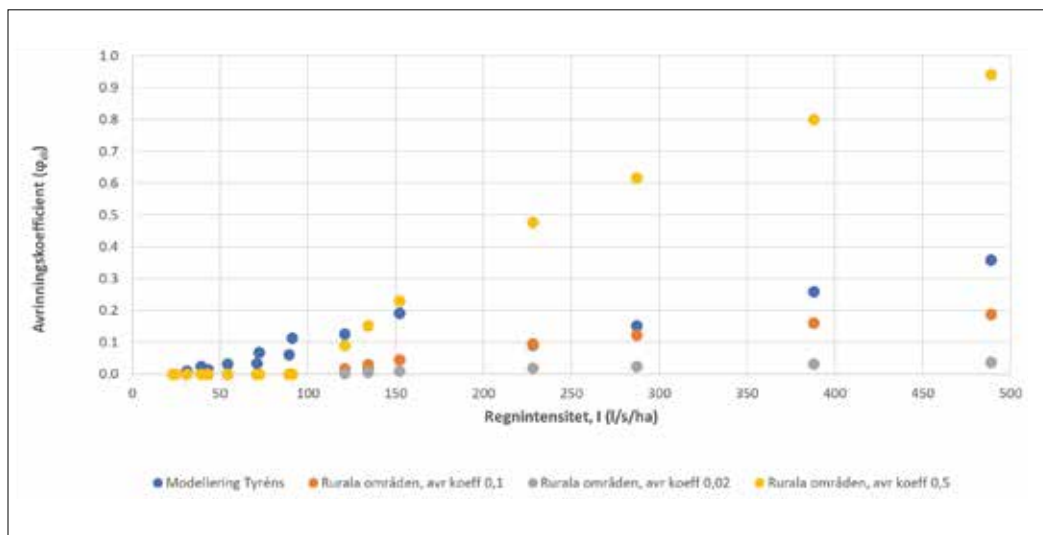
$$\varphi_{dI} = \varphi_d \cdot (1,22 \text{ LN}(I) - 5,67) \quad (1)$$

$\varphi_d$  Dimensionerande avrinningskoefficient utan justering och som används för Rationella metoden och i t.ex. P110 (Svenskt Vatten, 2016).

Diagrammet i Figur 5 jämför modellerade data från Tyréns för urbana parkytor (lerig sand), d.v.s. data som visas i Figur 4, med data från rurala områden enligt Ekv. 1 och med de ovan angivna avrinningskoefficienterna 0,1, 0,02 och 0,5. Diagrammet visar hur



Figur 5. Jämförelse av modellerade data från Tyréns enligt Fig. 4 och Ekv. 1 för urbana parktytor (lerig sand) med data från rurala områden enligt Ekv. 4 med avrinningskoefficienterna 0,1, 0,02 och 0,5.



dessa avrinningskoefficienter minskar för låga men ökar för höga regnintensiteter (olika för olika rurala områden med olika jordtyper).

Ekvationerna 2–3 föreslås användas tills vidare för att beräkna avrinningskoefficienten utifrån angiven regnintensitet (I) för urbana och blandade markanvändningstyper. Med urbana områden avses områden som huvudsakligen utgörs av bebyggelse såsom bostads-, centrum- och industriområde.

Urbana områden:

$$\varphi_{dI} = \varphi_d \cdot (0,525 \text{ LN}(I) - 1,88) \quad (2)$$

Mixede (alla) områden:

$$\varphi_{dI} = \varphi_d \cdot (0,796 \text{ LN}(I) - 3,36) \quad (3)$$

Om värdet på resulterande justerad avrinningskoefficient blir större än 1,0 så används värdet 1,0. Om det blir mindre än 0 så används värdet 0.

### Dimensionerande flöde

Tabell 4 visar beräknade dimensionerande flöden (l/s) för hela avrinningsområdet i Fagersjö för olika beräkningsfall med olika antaganden. Att inte räkna med grönytan längst bort ger t.ex. högre flöde än att räkna med grönytan, och blir därmed dimensionerande. Resultat avseende 9 beräkningsfall redovisas i Tabell 4

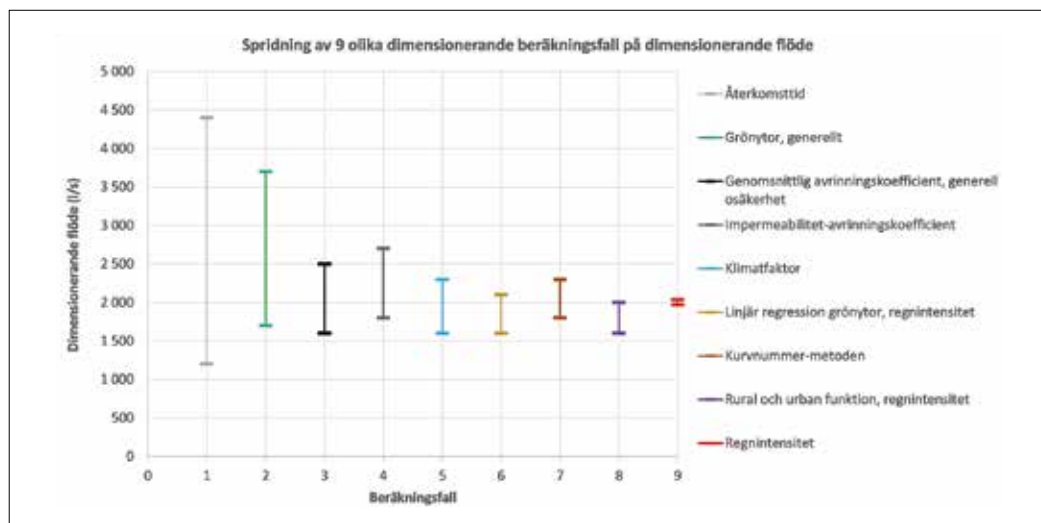
och Figur 6 och avseende påverkan på det beräknade dimensionerande flödet. Rinntiden (koncentrationstiden) för dimensionerande flöde ( $Q_{dim}$ ) beräknades till 16 minuter för området utan att räkna med grönytan längst uppströms, och till 25 minuter för hela området (Tabell 4).

Beräknade dimensionerande flöden ( $Q_{dim}$ ) påverkades mest av (1) återkomsttid och (2) generella antaganden kring grönytor. Övriga beräkningsfall visade liknande variationer på resultaten, se Figur 6, undantaget (9) Regnintensitet som för denna fallstudie gav liknande resultat kring 2 000 l/s både om generella data för hela Sverige eller nyare data från sydöstra Sverige (som gav något lägre regnintensitet och  $Q_{dim}$ ) användes. Det senare skulle ge större spridning om fallstudien låg i sydvästra Sverige då flödena skulle öka till 2 200 l/s om nya data från Svenskt Vatten och SMHI (2020) skulle användas. Standardfallet (Svenskt Vatten, 2016) gav  $Q_{dim} = 2\,000$  l/s och högre flöde för fallet att exkludera grönytorna längst uppströms än att inkludera det, vilket gav 1 700 l/s. Variationen av olika specifika antaganden kring gröna ytor och avrinningskoefficienter (beräkningsfall 4 och 6–8) gav  $Q_{dim} = 1\,600$ – $2\,700$  l/s, varmed det spelar stor roll vilka antaganden som görs kring bl.a. hur gröna ytor påverkar  $Q_{dim}$ .

**Tabell 4.** Dimensionerande flöden  $Q_{dim}$  (l/s), dimensionerande rinntider  $t_c$  (time of concentration) och avrinningskoefficienter ( $\varphi_d$ ) för hela området Fagersjö med olika normala variationer på återkomsttider (år), klimatfaktorer (-), avrinningskoefficienter (-), regnintensiteter (l/s/ha) och grönytors bidrag.

BERÄKNINGSFALL MED OLIKA ANTAGANDEN	$Q_{dim}$ (l/s)	$t_c$ (min)	$\varphi_d$
<b>(1) Återkomsttid (år).</b> Klimatfaktor 1,25, avrinningskoefficient 0,34, ej grönyta längst bort			
2	1 200	16	0,34
5	1 600	16	0,34
10	2 000	16	0,34
100	4 400	16	0,34
<b>(2) Grönytor, generellt.</b> Återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25			
Hela området, grönyta $\varphi_d = 0,1$	1 700	25	0,28
Ej grönyta längst bort, $\varphi_d = 0,1$ för övriga grönytor.	2 000	16	0,34
Hela området, grönyta $\varphi_d = 0,8$ (Blomquist et al., 2016)	3 700	25	0,64
<b>(3) Genomsnittlig avrinningskoefficient, generell osäkerhet.</b> RSE = 20% (Wu et al., 2021), återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25, ej grönyta längst bort			
0,27	1 600	16	0,27
0,34	2 000	16	0,34
0,41	2 500	16	0,41
<b>(4) Impermeabilitet – avrinningskoefficient.</b> Andel hårdgjorda ytor (impermeabilitet) utifrån SCALGO Live och samband impermeabilitet-avrinningskoefficient. Återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25, ej grönyta längst bort			
The simple method (1987). Hårdgjord area = 12 ha av 28 ha, I=43% ger $\varphi_d = 0,44$	2 700	16	0,44
Urbonas (1999). Hårdgjord area = 12 ha av 28 ha, I=43% ger $\varphi_d = 0,30$	1 800	16	0,30
Dhakal et al. (2012). Hårdgjord area = 12 ha av 28 ha, I=43% ger $\varphi_d = 0,32$	1 900	16	0,32
Hårdgjord yta 12 ha, $\varphi_d = 0,85$	2 200	16	0,85
<b>(5) Klimatfaktor.</b> Återkomsttid 10 år, avrinningskoefficient 0,34, ej grönyta längst bort			
1,0	1 600	16	0,34
1,25	2 000	16	0,34
1,4	2 300	16	0,34
<b>(6) Linjär regression grönytor, regnintensitet.</b> Gröna ytor utgörs av lerig sand. Återkomsttid 10 år			
Regression på parkmark och blandat grönområde ger $\varphi_d = 0,11$	2 100	16	0,34
Regression på parkmark, blandat grönområde och skogsmark ger $\varphi_d = 0,11$	2 100	16	0,34
Hela området, regr. parkmark, blandat grönområde och skogsmark ger $\varphi_d = 0,084$	1 600	25	0,28
<b>(7) Kurvnummer-metoden – Alla gröna ytor med låg eller hög kompaktering (SCALGO, 2023).</b>			
Återkomsttid 10 år, ej grönyta längst bort			
Fin sand, låg kompaktion, CN = 30 ger $\varphi_d = 0,0015$	1 800	16	0,30
Fin sand, hög kompaktion, CN = 68 ger $\varphi_d = 0,10$	2 000	16	0,34
Silt, låg kompaktion, CN = 55 ger $\varphi_d = 0,038$	1 900	16	0,31
Silt, hög kompaktion, CN = 79 ger $\varphi_d = 0,21$	2 300	16	0,38
<b>(8) Rural och urban funktion, regnintensitet.</b> Generella funktioner för rurala resp. urbana ytor (Larm et al., 2023). Återkomsttid 10 år, ej grönyta längst bort			
Rural ekvation för alla grönytor ger $\varphi_d = 0,062$	2 000	16	0,32
Både urban och rural ekvation för alla grönytor ger $\varphi_d = 0,39$ (urb) och 0,062 (rur)	1 600	16	0,27
<b>(9) Regnintensitet (l/s/ha).</b> Återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25, avrinningskoefficient 0,34, ej grönyta längst bort			
Sverige, hela (2010)	2 000	16	0,34
Sverige, sydost (2020)	2 000	16	0,34

Figur 6. Dimensionerande flöden (l/s) för hela området Fagersjö med spridningen av 9 olika dimensionerande beräkningsfall på flödena.



En iteration från funktionerna i Figur 2 gav för  $t_c = 16$  min och  $I = 173$  l/s/ha en avrinningskoefficient  $\varphi_{dI}$  kring 0,06–0,07 för parkmark och blandat grönområde vilket resulterade i ett beräknat marginellt lägre  $Q_{dim}$  än ovan nämnt standardfall kring 2 000 l/s, men inom samma storleksordning, också ca 2 000 l/s (endast ca 30–40 l/s lägre). Detta värde på  $Q_{dim}$  kommer alltså från en funktion av både regnintensitet och regnvaraktighet.

### Erforderlig fördröjningsvolym

Tabell 5 sammanställer spridningen av samma 9 beräkningsfall på erforderlig fördröjningsvolym,  $V_d$  ( $m^3$ ). Resultaten från Tabell 6 visualiseras i Figur 7 och visar att samma beräkningsfall, återkomsttid och grönytors bidrag, ger störst effekt även på erforderlig fördröjningsvolym ( $V_d$ ). Variationen på övriga fall följer också samma inbördes storleksförhållande, med undantag av att variationen blev större på  $V_d$  än för dimensionerande flöde för (9) Kurvnummer-metoden och (8) Rural och urban funktion. Standardfallet (Svenskt Vatten, 2016) gav  $V_d = 2\ 400\ m^3$  och gav högre volym för fallet att inkludera grönytorna än att exkludera dessa, vilket gav  $2\ 200\ m^3$ . Variationen av olika specifika antaganden kring gröna ytor och avrinningskoefficienter (beräkningsfall 4 och 6–8) gav  $V_d = 530\text{--}3\ 600\ m^3$  så det spelar stor roll vilka antagan-

den som görs kring bl.a. hur gröna ytor påverkar  $V_d$ , ännu större roll än hur de påverkar  $Q_{dim}$ .

Att använda olika regnintensitetsdata för platsen gav  $V_d = 2\ 400\ m^3$  med generella data för hela Sverige, respektive  $V_d = 2\ 200\ m^3$  med data från sydöstra Sverige. Det senare skulle ge större spridning om fallstudien låg i sydvästra Sverige då  $V_d$  skulle öka till  $2\ 600\ m^3$  om nya data från Svenskt Vatten och SMHI (2020) skulle användas.

En iteration från funktionerna i Figur 2 gav för  $t_r = 80$  min och  $I = 58$  l/s/ha en avrinningskoefficient  $\varphi_{dI}$  kring 0,02–0,03 för parkmark och blandat grönområde och ett något lägre beräknat  $V_d$  än ovan nämnt standardfall på  $2\ 400\ m^3$ , nämligen ca  $2\ 200\ m^3$ . Detta värde på  $V_d$  kommer alltså från en funktion av både regnintensitet och regnvaraktighet.

Rinntiden (koncentrationstiden) för flödesutjämning när hela områdets dagvatten bidrar beräknades till 25 min, vilket gav en minskad fördröjningsvolym med hänsyn till rinntidens fördröjande effekt (Svenskt Vatten, 2016), men simuleringarna resulterade i en dimensionerande regnvaraktighet mellan 40–240 min som resulterat i beräknad erforderlig fördröjningsvolym (Tabell 5).

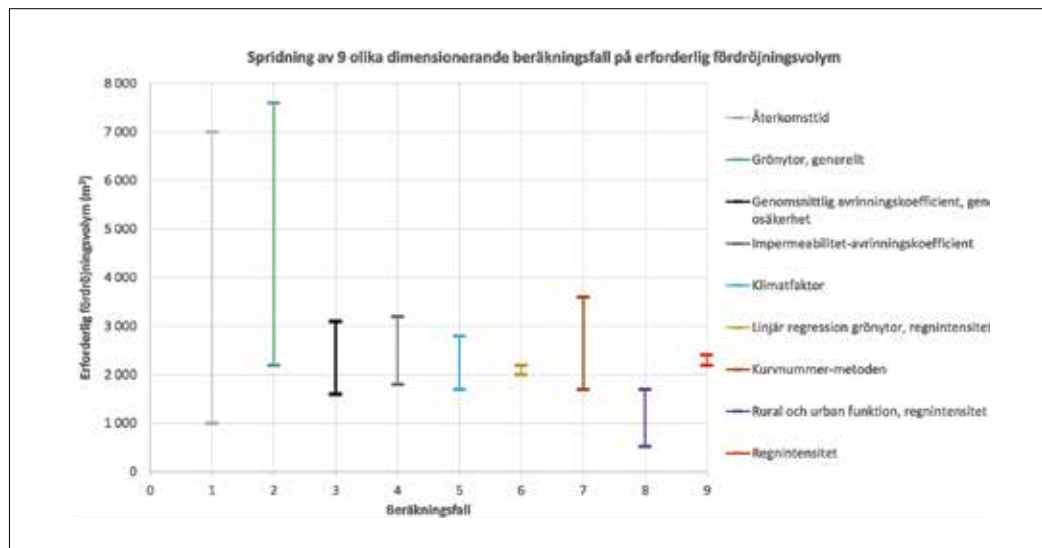
### Diskussion och fortsatt utredning

Även gröna ytor inom bebyggelsen såsom gräsmattor inom villaområden kan bli mättade, men skulle de

**Tabell 5.** Erforderliga fördröjningsvolymen  $V_d$  ( $m^3$ ), dimensionerande regnvaraktigheter  $t_r$  och avrinningskoefficienter ( $\varphi_d$ ) för hela området Fagersjö med olika normala variationer på återkomsttider (år), klimatfaktorer (-), avrinningskoefficienter (-), regnintensiteter ( $l/s/ha$ ) och grönytors bidrag.

BERÄKNINGSFALL MED OLIKA ANTAGANDEN	$V_d$ ( $m^3$ )	$t_r$ (min)	$\varphi_d$
<b>(1) Återkomsttid (år).</b> Avrinningskoefficient 0,28, klimatfaktor 1,25			
2	1 000	50	0,28
5	1 700	70	0,28
10	2 400	80	0,28
100	7 000	180	0,28
<b>(2) Grönytor, generellt.</b> Återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25			
Ej grönyta längst bort ( $\varphi_d = 0,1$ för övriga grönytor)	2 200	70	0,34
Hela området, alla grönytor, $\varphi_d = 0,1$	2 400	80	0,28
Hela området, alla grönytor, $\varphi_d = 0,8$ (Blomquist et al., 2016)	7 600	240	0,64
<b>(3) Genomsnittlig avrinningskoefficient, generell osäkerhet.</b> RSE = 20% (Wu et al., 2021), återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25			
0,22	1 600	60	0,22
0,28	2 400	80	0,28
0,34	3 100	100	0,34
<b>(4) Impermeabilitet – avrinningskoefficient.</b> Andel hårdgjorda ytor (impermeabilitet) utifrån SCALGO Live och samband impermeabilitet-avrinningskoefficient. Återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25			
The simple method (1987). Hårdgjord area = 12 ha av 36 ha, $I=33\%$ ger $\varphi_d = 0,35$	3 200	110	0,35
Urbonas (1999). Hårdgjord area = 12 ha av 36 ha, $I=33\%$ ger $\varphi_d = 0,24$	1 800	70	0,24
Dhakal et al. (2012). Hårdgjord area = 12 ha av 36 ha, $I=33\%$ ger $\varphi_d = 0,28$	2 300	80	0,28
Hårdgjord yta 12 ha, $\varphi_d = 0,85$	2 400	80	0,85
<b>(5) Klimatfaktor.</b> Återkomsttid 10 år, avrinningskoefficient 0,28			
1,0	1 700	70	0,28
1,25	2 400	80	0,28
1,4	2 800	90	0,28
<b>(6) Linjär regression grönytor, regnintensitet.</b> Gröna ytor utgörs av lerig sand. Återkomsttid 10 år			
Hela området, regression på parkmark och blandat grönområde ger $\varphi_d = 0,033$	2 200	80	0,27
Hela området, regression på parkmark, blandat grönområde och skogsmark ger $\varphi_d = 0,037$	2 000	70	0,25
<b>(7) Kurvnummer-metoden – Alla gröna ytor med hög eller låg kompaktering (SCALGO, 2023).</b> Återkomsttid 10 år			
Fin sand, låg kompaktion, CN = 30 ger $\varphi_d = 0,0014$	1 700	70	0,23
Fin sand, hög kompaktion, CN = 68 ger $\varphi_d = 0,16$	2 700	90	0,31
Silt, låg kompaktion, CN = 55 ger $\varphi_d = 0,074$	2 200	80	0,27
Silt, hög kompaktion, CN = 79 ger $\varphi_d = 0,29$	3 600	120	0,38
<b>(8) Rural och urban funktion, regnintensitet.</b> Generella funktioner för rurala resp. urbana ytor (Larm et al., 2023). Återkomsttid 10 år			
Hela området, rural ekvation för alla grönytor ger $\varphi_d = 0$	1 700	70	0,23
Hela området, både urban och rural ekvation ger $\varphi_d = 0,32$ (urban) och $\varphi_d = 0,028$ (rural)	530	40	0,24
<b>(9) Regnintensitet (<math>l/s/ha</math>).</b> Återkomsttid 10 år, avrinningskoefficient 0,28, klimatfaktor 1,25			
Sverige, hela (Dahlström, 2010)	2 400	80	0,28
Sverige, sydost (Svenskt Vatten och SMHI, 2020)	2 200	80	0,28

Figur 7. Erforderliga fördröjningsvolym (m<sup>3</sup>) för hela området Fagersjö med påverkan av 9 olika beräkningsfall på erforderlig fördröjningsvolym.



räknas separat så skulle de vid beräkning av fördröjning och lång dimensionerande regnvaraktighet ge sänkt avrinningskoefficient jämfört med standardvärdet 0,10 i P110, varmed detta skulle sänka (inte höja) avrinningskoefficienten för villaområden, liksom det för urbana områden blir sänkta avrinningskoefficienter vid lång varaktighet. Gröna ytor kan dock bli mättade vid intensiva regn med kort varaktighet vilket ger ökad avrinningskoefficient och därmed avrinning. Detta kan resultera i översvämning lokalt uppströms ledningarna som inte är dimensionerade för detta.

För beräkning av erforderliga fördröjningsvolym visar resultat från fallstudien att för liknande fall med strypta utlopp med lång dimensionerande varaktighet (i detta fall ca 80 min) så indikerar användning av framtagen funktion med hänsyn till regnintensitet och regnvaraktighet att fördröjningsvolymen blir mindre än om nuvarande använda statistiska värden på avrinningskoefficienter enligt P110 skulle användas. Detta beror på låga dimensionerande regnintensiteter då den största andelen av regnet bedöms kunna infiltrera med liten avrinning som följd. Detta visar både simuleringarna från Tyréns och tidigare rapporterade samband från rural (och även urban) mark. Även om dimensionerande flöden inte ökade, utan snarare minskade något, när man beaktar regnintensitet och varaktighet

för denna fallstudie så kan det bli fallet för mindre områden med kortare rinntid och för kraftigare regn vid längre dimensionerande återkomsttid. Den stora variationen i resultat visar dock vikten av att välja rätt återkomsttid och att studera grönytornas bidrag mer detaljerat. I övrigt ligger variationerna och värdena för både dimensionerande flöden och fördröjningsvolym relativt lika.

Påverkan av återkomsttid och grönytor generellt och dess stora variation enligt resultaten från fallstudien bedöms bli mindre om man beaktar att man väljer återkomsttid efter vissa kriterier och att grönytornas maxvärde 0,8 bedöms vara överskattad för fallstudien, särskilt för de långa regnvaraktigheter som blir dimensionerande för erforderlig fördröjningsvolym.

Regnvaraktighetens betydelse (och därmed markmättnadens inverkan) för beräknad avrinningskoefficient bör analyseras vidare utifrån fler mätningar och andra samband. Tills vidare bedöms resultaten ge ett ungefärligt intervall på påverkan mellan regnintensitet och avrinningskoefficient.

Vi rekommenderar att för parkmark och liknande grönytor med jordtyp lerig sand att använda funktionerna från Figur 2 som bäst fångar sambanden mellan avrinningskoefficient, regnintensitet och varaktighet. De behöver kompletteras med fler funktioner för fler

regnvaraktigheter för att kunna användas direkt i beräkningar av dimensionerande flöden och erforderlig fördröjning. Vilka specifika regnvaraktigheter som blir dimensionerande beror på beräknad rinnvidd avseende dimensionerande flöden och den regnvaraktighet som ger max fördröjningsvolym.

För att möjliggöra vidare studier i olika projekt planeras följande implementeras i StormTac Webmodellen som en option till att använda statistiska avrinningskoefficienter från P110:

- För parkmark och liknande gröna ytor med jordtyp lerig sand kan funktionerna från Figur 2 efter komplettering med fler regnvaraktigheter användas.
- För skogsmark och gröna ytor som inte utgörs av sandig lera kan den generella ekvationen för rural mark (Ekv. 1) användas.
- För urbana och övriga mixade markanvändningar kan Ekv. 2-3 användas.

Dessa funktioner planeras framöver kontinuerligt att förbättras med nya data och metoder som en fortsättning på denna studie.

### Slutsatser

Simuleringarna från Tyréns visade att för en viss lägre regnintensitet så sker ingen avrinning från parkytor med jordtypen lerig sand. För de längsta simulerade varaktigheterna på 24 h och 96 h beräknas ingen avrinning ske oavsett återkomsttid på regnet (2–100 år). Beräkningarna visade dock även att avrinningskoefficienten blev ungefär densamma för ett lite kraftigare regn med kortare regnvaraktighet som för ett mindre kraftigt regn med längre varaktighet, trots att avrinningskoefficienten normalt ökar vid intensivare regn. Detta förklarades av att mättnadsgraden ökar vid längre varaktighet, vilket minskar infiltrationskapaciteten.

Mängden ytavrinning från en grönyta beror av markens vattenmättnad och oftast ökar markmättnaden, och därmed avrinningen, under en regnhändelse. Markmättnadens förändring beror både av hur länge regnet pågår och av regnets intensitet och utifrån detta behöver hänsyn tas till såväl regnintensitet som regnvaraktighet vid uppskattning av avrinningskoefficienter. Om endast regnintensitet tas hänsyn till fångas inte markmättnadsdynamiken, vilket ger bristande träffsäkerhet i uppskattning av ytavrinning. Detta

framgår tydligt av Figur 2 där de varaktighetsspecifikt anpassade ekvationerna följer datasetet med avrinningskoefficienter väl, medan funktionen som endast tar hänsyn till regnintensitet är betydligt sämre anpassad till datapunkterna (se Figur 4).

Känslighetsanalyserna visade att ansättning av grönytor är en viktig del i beräkning av flöden och fördröjningsvolym, både avseende vilka ytor som tas med i beräkningarna och hur avrinningskoefficienten ansätts. Litteraturdata samt Tyréns modellering av avrinning från grönytor visar att avrinningskoefficienten varierar kraftigt mellan olika varaktigheter, regnintensiteter eller återkomsttider. Detta bör tas hänsyn till vid beräkning av dimensionerande flöden för att välja tillräckliga dimensioner på ledningar och diken samt för att beräkna erforderlig fördröjningsvolym för att minska risken för översvämningar.

Känslighetsanalyserna visade även att följande faktorer i storleksordning gav störst till minst påverkan på det beräknade dimensionerande flödet: (1) Återkomsttid; (2) Grönytor, generellt; (3) Genomsnittlig avrinningskoefficient, generell osäkerhet; (4) Samband impermeabilitet-avrinningskoefficient; (5) Klimatfaktor; (6) Linjär funktion för grönytor, regnintensitet; (7) Kurvnummer-metoden; (8) Rural och urban funktion, regnintensitet och (9) Regnintensitet. Samma påverkansordning gällde för beräkning av erforderlig fördröjningsvolym, utom för Kurvnummer-metoden med 3e största påverkan och Rural och urban funktion med 5e största påverkan. Utifrån parametrarnas betydelse bör därför dagvatten- och avrinningsutredningar lägga ett förhållandevis stort fokus på de parametrar som ger störst inverkan på dimensionerande flöde och fördröjningsvolym, varav de allra viktigaste faktorerna är val av återkomsttid samt hur avrinning från grönytor representeras.

## Referenser

- Blomquist, D., Hammarlund, H., Härle, P., Karlsson, S. (2016) Riktlinjer för modellering av spillvattenförande system- och dagvattensystem. Svenskt Vatten Utveckling, rapport nr 2016 15.
- Broekhuizen, I., Muthanna, T.M., Leonhardt, G., Viklander, M. (2019) Urban Drainage Models for Green Areas: Structural Differences and Their Effects on Simulated Runoff. *Journal of Hydrology X* 5 (November): 100044. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2019.100044>.
- City of Woodland Park (2014) Drainage Criteria Manual, March 2014. <https://www.city-woodlandpark.org/DocumentCenter/View/2319/Drainage-Criteria-Manual-all-chapters-PDF>.
- Dahlström, B. (1979) Regional fördelning av nederbördsintensitet – en klimatologisk analys. Building Research Council in Sweden, Report R 18: 1979. 84 p- ISBN 91-540-2986-4.
- Dahlström, B. (2010) Regnintensitet – en molnfysikalisk betraktelse. Svenskt Vatten utveckling 2010-05.
- Davidsen, S., Löwe, R., Ravn, N.aH., Jensen, L.N., Arnbjerg-Nielsen, K. (2018) Initial Conditions of Urban permeable Surfaces in Rainfall-Runoff Models Using Horton's Infiltration. *Water Science and Technology* 77 (3): 662–69. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.580>.
- Kjellin, J., Ekeröth, S., Olsson, J., Andersson, E., Rigau, X.M., Broekhuizen, I. (2023) Minskning av översvämningsrisker genom medveten grönytedesign - Vad betyder infiltrationskapaciteten i grönytor för stadens översvämningsrisker och hur kan vi påverka den? *Vatten*, 79(4) 197-209 (detta nummer).
- Larm T., Larm, C., Wahlsten, A., Kjellin, J., Olsson, J., Broekhuizen, I. (2023) Metoder för beräkning av dimensionerande flöden till transportsystem och erforderlig fördröjningsvolym i dagvattenanläggningar – en internationell litteraturstudie. Rapport 2022-06-23 inom Vinnova-projektet SECURE – StormwatEr planning för inCreased Urban REsilience. StormTac, Tyréns och Luleå Tekniska Universitet. Rev 3, 2023-10-23.
- Šimúnek, J., Šejna, M., Saito, H., Sakai, M & van Genuchten, M. Th (2009). The HYDRUS-1D Software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media Version 4,08. Department of Environmental Sciences University of California Riverside.
- Svenskt Vatten och SMHI (2020) Rekommendationer vid val av nederbördsstatistik för dimensionering av dagvattensystem. PM april 2020.
- Penn, C.J., Bowen, J.M. (2018) Design and construction of phosphorus removal structures for improving water quality. Springer, USA.
- StormTac (2023) Dagvatten- och recipientmodellen StormTac Web. <https://www.stormtac.com/>.
- USDA-SCS (1986) Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release No. 55 (TR55). [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf).
- Wu, J., Larm, T., Wahlsten, A., Marsalek, J., Viklander, M. (2021) Uncertainty inherent to a conceptual model StormTac Web simulating urban runoff quantity, quality and control, *Urban Water Journal*.