

Stockholmsregn 2024

Framtagande av regionala
hyetografer för extrem
nederbörd och skyfall

RAPPORT

Stockholmsregn 2024

Framtagande av regionala hyetografer för extrem nederbörd och skyfall

Rapportversion: 1

Datum: 2024-10-29

Kontaktpersoner Stockholms stad, trafikkontoret

Jonas Althage	Strateg	Jonas.althage@stockholm.se 08 508 262 04
Alexandros Chatzakis	Utredare	Alexandros.chatzakis@stockholm.se 08 508 260 76

Kontaktpersoner konsult

Nina Johansson, Sweco	Uppdragsledare	nina.johansson@sweco.se 08 695 62 23
Jonas Olsson, SMHI	Senior forskare hydrologi	jonas.olsson@smhi.se
Johan Södling, SMHI	Matematiker, statistiker	johan.sodling@smhi.se
Claes Hernebring, DHI	Seniorkonsult urbanhydrologi	chb@dhigroup.com

Projektnummer, Sweco: 30048714

Förord

Denna rapport är en relativt teknisk skrift som redogör för statistiska och matematiska bearbetningsmetoder av stora mängder nederbördsdata och hur dessa data har omvandlas till statistiskt dimensioneringsunderlag för skyfallsutredningar. Rapporten är resultatet av ett utvecklingsprojekt som Stockholms stads skyfallsfunktion genomfört med hjälp av främst SMHI, Sweco och DHI.

Rapporten ämnar utgöra underlag för de som vill förstå genomförandemetodiken, dataunderlaget, bearbetningsprocessen samt hur osäkerheter hanterats och antaganden genomförts i projektarbetet.

Aktuellt projekt är sannolikt det första i sitt slag i Sverige. I projektet har stora mängder nederbördsdata från ett stort antal främst kommunala nederbördsmätare samlats in på lokal/regional nivå, och bearbetats som en sammanhängande datamängd för att ta fram tillförlitligt statistiskt dimensioneringsunderlag. Fokus har varit att ta fram tillförlitlig statistik för extremregn med mycket höga återkomsttider i form av bland annat hyetografer och blockregnsstatistik, inom en avgränsad geografisk nivå.

Genomförandet av detta projekt har endast varit möjligt av det faktum att ett flertal kommuner genom bl.a. VA-bolag och myndigheter som är verksamma inom Stockholmsregionen under lång tid genomfört nederbördsmätningar, och således skapat tillgång till ett mycket omfattande dataunderlag som lämpar sig för statistisk analys.

Under arbetets gång har flera aktörer inom Stockholms stads organisation fått kontinuerlig information och uppföljning om projektet samt getts möjlighet att inkomma med synpunkter på arbetets inriktning. Främst miljöförvaltningen, stadsbyggnadskontoret, stadsledningskontoret, exploateringskontoret och Stockholm Vatten och Avfall (SVOA) har ingått i denna process.

SVOA och miljöförvaltningen, genom SLB-analys (del av miljöförvaltningen i Stockholms stad), har även delgett projektet betydande mängd analysmaterial och bistått med tekniskt kunnande under arbetets gång.

Resultat och slutsatser från detta arbete kommer fritt att delges offentliga och privata aktörer inom Stockholmsregionen.

Arbetsgruppen vill tillägna ett särskilt tack till följande kolleger,

Lars-Gunnar Jansson för hans ihärdiga arbete att utveckla mätning och dokumentation av högupplöst nederbördsdata i "Regn Stockholm", en databas med många online-mätare runt om i Stockholm som byggts upp under början av 2000-talet.

Claes Hernebring för hans långa och produktiva arbete med att analysera nederbördsdata, framställa regnkurvor och hitta statiska samband. Hans arbete har gett "VA Sverige" stor kunskap inom nederbördsrelaterade frågor.

Sammanfattning

Inom Stockholms stad och övriga kommuner i Sverige har skyfallsutredningar generellt nyttjat nationell statistik för nederbördsbelastning som dimensioneringsunderlag. Detta har gjorts genom att de så kallade hyetografer ("regnkurvor"), som beskriver skyfallets nederbördsintensitet över tid, som använts är sådana som baseras på nederbördsstatistik som representerar hela landet. Det har dock sedan ett antal år funnits forskning som tydligt visat att olika delar av landet har olika hög risk för stora skyfall.

Skyfallsfunktionen på Stockholms stad har projektlett arbetet där konsulter från främst SMHI, Sweco och DHI samlat in nederbördsmätningar från Stockholms stad samt kranskommuner. Nederbördsmätningar från totalt 45 stationer samlades in. Nederbördsmätningar har kvalitetsgranskats och bearbetats för att utgöra underlag för statistiska analyser och matematiska anpassningar av data till hyetografer. Totalt motsvarar den kvalitetsgranskade och godkända datamängden ca 350 så kallade stationsår, efter att osäkra data sorterats bort.

Projektet har lett till att regionspecifikt dimensioneringsunderlag kunnat tas fram, som anses vara av hög kvalitet och tillförlitlighet. Två huvudsakliga hyetografer (benämnda kluster 1 och kluster 2) har kunnat bevisas representera så gott som alla extrema regntillfällen, sett till hur de fördelas i tid och intensitet. Inom Projektet har även ett Stockholmsspecifikt så kallat CDS-regn (*Chicago Design Storm*) tagits fram.

Resultatet från arbetet visar att Stockholms stad tydligt, vid återkomsttider på regn runt 20 år och mer, har lägre skyfallsrisk än vad den nationella statistiken visar, som hittills använts inom staden. Resultatet har också överlag en god överensstämmelse mot SMHI:s statistik som är uppdelad efter olika regioner i Sverige. Detta medför till exempel att de så kallade "100-årsregnen", som generellt används som dimensioneringsunderlag i nybyggnadsprojekt, med den nya statistiken ger ca 20-30 % lägre regnvolymer än vad staden hittills arbetat efter (andelen varierar med återkomsttid och varaktighet). Detta betyder att skyfallsåtgärder hittills och fortsatt idag överdimensioneras i nybyggnadsprojekt om den nationella statistiken används, jämfört med om de hyetografer som tagits fram inom föreliggande projekt skulle användas.

För lägre återkomsttider återfinns inte samma diskrepans som för mer extrema återkomsttider. Detta förklaras av det faktum att den nationella statistiken (Dahlströms 2010) har ett tillämpningsområde för återkomsttider upp till 10 år och är framtagna baserad på statistisk data som kan beskriva dessa återkomsttider väl.

Dimensioneringsunderlaget som tagits fram inom föreliggande projekt anses av skyfallsfunktionen hålla tillräckligt hög kvalitet och vara tillförlitligt nog för att kunna implementeras i stadens verksamhet. I projektarbetet har även en översyn av den så kallade klimatfaktorn gjorts, vilken beskriver hur mycket högintensiv nederbörd bedöms öka i framtiden. Översynen inkluderar genomgång av expertmyndigheters rekommendationer och forskningsunderlag och en rekommendation om vilken klimatfaktor som Stockholms stad bör använda i skyfallsprojekt har tagits fram.

Skyfallsfunktionens rekommendationer om implementering i stadens verksamhet gäller endast sådana arbeten där extrema skyfall med **återkomsttid runt 50 år och uppåt** är relevanta.

Skyfallsfunktionen ger inga rekommendationer eller analyser huruvida den statistik och information som tagits fram bör implementeras i arbeten där regn med **återkomsttider om 30 år eller lägre** är aktuellt. Detta eftersom sådana beslut noggrant behöver analyseras av VA-huvudmannen först och främst. Skyfallsfunktionen tillhandahåller dock allt resultat, data och information som tagits fram inom Projektet till Stockholm Vatten och Avfall (hädanefter "SVOA") för sådana analyser.

Skyfallsfunktionen rekommenderar att följande dimensioneringsunderlag används inom Stockholms stad för skyfallsutredningar där **återkomsttid på nederbördshändelsen är minst 50 år**:

- 1) En klimatfaktor om 1,4 används som standard.
- 2) StockholmsCDS-regn används som hyetograf.
- 3) Varaktigheten för skyfalls-hyetografer ska *alltid* vara som *minst* sex (6) timmar, oavsett hur litet avrinningsområdets storlek är. Inom större avrinningsområden bör längre varaktighet användas om så anses lämpligt.
- 4) Hela avrinningsområdet ska belastas med samma hyetograf.
- 5) Hyetograferna bör utformas med en så kallad skevhetfaktor om 0,31 vilket motsvarar den faktor som statistiskt bäst beskriver extrema regn inom Stockholms stads geografi.

- 6) Vid behov av känslighetsanalys med annan hyetograf bör Kluster 2 först och främst användas. Kluster 1 kan användas som tredje hyetograf i känslighetsanalys. Känslighetsanalys ska genomföras för att utreda behov av *förstärkt* skydd, inte för att hitta motiv för *reducerat* skydd.
- 7) Det är alltid lämpligt, men inte ett krav, att genomföra känslighetsanalys med Kluster 2 då skyddsåtgärder planeras för platser eller objekt med särskilt högt skyddsvärde.
- 8) Blockregnsstatistik kan användas i de applikationer som anses lämpliga men ska inte utgöra huvudsakligt dimensioneringsunderlag i skyfallsutredningar.
- 9) Projekt som redan pågår och har anpassningar för att hantera skyfallsrisk, där tidigare dimensioneringskrav använts, kan välja huruvida man vill uppdatera utformning av projektet med de nya rekommendationerna eller ej. Beslutet är upp till respektive projektledning.

De dimensioneringsförutsättningar som tagits fram inom föreliggande projekt bör kunna användas även av övriga kommuner inom det geografiska område som nederbördsmätningar samlats in från, med ytterligare en viss omnejd.

Det rekommenderas även att den nederbördsstatistik som tagits fram inom detta arbete uppdateras med en viss frekvens, för att ytterligare höja kvaliteten i dimensioneringsunderlaget. Det bedöms lämpligt att var 5:e till 10:e år uppdatera ”Stockholmsregn” med nytillkomna nederbördsmätningar.

Innehåll

Ordlista	8
1 Inledning	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Mål och syfte	9
1.3 Bemanning av Projektet	10
1.4 Omfattning	11
1.4.1 Klimatfaktor	11
2 Förutsättningar	12
2.1 Underlag	12
2.1.1 Högupplöst nederbördsdata	12
2.1.2 Datakällor	13
2.1.3 Geografisk utbredning och fördelning i tid	13
2.1.4 Klimatfaktor	15
3 Metodik	17
3.1 Kvalitetssäkring och bearbetning av underlag	17
3.2 Regndefinition	19
3.3 Stationsårsmetoden	19
3.3.1 Oberoende av stationsdata	19
3.4 Framtagande av blockregnstatistik	21
3.4.1 Förprocessering	21
3.4.2 Bearbetning av individuella regnserier	22
3.5 Statistisk fördelning av blockregn	22
3.6 Framtagande av CDS-regn	23
3.7 Konfidensintervall för blockregn	25
3.8 Bearbetning av data för anpassning till hyetografer	25
3.9 Skevhetsfaktor	27
3.10 Matematiska anpassningar	28
3.10.1 Matematiska metoder som övervägts	28
3.10.2 Klustermetoden	28
4 Resultat	29
4.1 Blockregnsstatistik	29
4.2 Jämförelse av framtagen blockregnsstatistik mot andra datakällor	30
4.2.1 Jämförelse "Stockholm 2022" med SMHI 2017 SÖ	30
4.2.2 Jämförelse "Stockholm 2022" med Dahlström 2010	30
4.2.3 Jämförelser med annan regnstatistik	31
4.3 Matematisk anpassning till Kluster 1 och Kluster 2	31
4.4 Framtagna hyetografer	32
4.5 Det värsta uppmätta regnet i Stockholm	37

4.6	Geografisk utbredning	38
4.7	Levererad data	39
4.8	Framtida uppdateringar av statistiken	39
4.9	Klimatfaktor	40
4.10	Leverans.....	40
5	Diskussion	41
5.1	Osäkerheter.....	41
5.2	Kan Stockholms stad använda Resultatet i verksamheten?.....	41
6	Slutsatser och rekommendationer.....	42
6.1	Vad de olika delarna av Resultatet kan användas till	42
6.1.1	Blockregn	42
6.1.2	Stockholms CDS-regn.....	43
6.1.3	Hyetograf kluster 1	43
6.1.4	Hyetograf kluster 2	43
6.1.5	Skevhetsfaktor (skewness factor)	43
6.1.6	Varaktigheter och regnfördelning	44
6.1.7	Geografisk utbredning	44
6.2	Hur bör Resultatet appliceras?.....	44
6.3	Nya rekommenderade förutsättningar för skyfallsutredningar	45
6.4	Påverkan på stadens verksamhet från de nya rekommendationerna	46
7	Referenser.....	48
	Bilaga 1. Karta över mätstationernas namn och placering	49
	Bilaga 2. Statistik över regnhändelsers tidsförlopp	50
	Bilaga 3. Jämförelse med Sverigemedel, VA-Forsk 2006–04	51
	Bilaga 4. Jämförelse med Stockholmskurvorna (1951)	52

Ordlista

Blockregn	Ett regn som har exakt samma regnintensitet under hela tidsperioden som regnet varar.
Blockregnsstatistik	Statistik som visar hur hög nederbördsintensitet eller -volym som ett blockregn har under olika tidsperioder/varaktigheter.
CDS-regn	En hyetograf (se förklaring nedan) som är framtagen enligt ”Chicago Design Storm”-metoden. Hyetografen beskriver hur regnets nederbördsintensitet varierar med tiden.
Dimensioneringsförutsättningar	Olika antaganden, parametervärden, riktlinjer eller andra aspekter som styr hur till exempel utredningar ska/bör genomföras eller konstruktioner ska/bör byggas.
Hyetograf	En kurva som beskriver hur ett nederbördstillfälles regnintensitet varierar över tiden. I lekmannatermer kallas hyetograf även för ”regnkurva”.
Klimatfaktor (för nederbörd)	En faktor som, för skyfall och nederbörd, beskriver hur klimatförändringar påverkar storleken och intensiteten på regnhändelser. Det är vedertaget att klimatfaktorn medför en ökad storlek/intensitet på regnhändelser i framtiden. En klimatfaktor om 1,4 motsvarar en 40 % ökning av nederbördsvolym.
Varaktighet (för nederbörd)	Den tidsperiod som ett regntillfälle varar, från det att det börjar till dess att det slutar.
Skyfall	I föreliggande rapport avses extremt högintensiva regn som är betydligt större än de regn som VA-systemet historiskt dimensionerats för enligt lagen om allmänna vattentjänster (LAV) och således med marginal generellt ligger utanför VA-huvudmannens ansvarsområde. Generellt resulterar dessa händelser i samhällsstörande översvämning med betydande negativa konsekvenser som följd, framförallt om det sker inom urbana områden.
Skyfallsfunktionen	Stockholms stads skyfallsfunktion som ansvarar för utveckling och samordning av strategiska arbeten inom skyfallsfrågan. Funktionen är placerad på trafikkontoret, som har det strategiska ansvaret för skyfallsfrågan i Stockholms stad.
Stationsår	Ett begrepp som i föreliggande rapport beskriver den totala tidsperiod, i antal år, som en viss datamängd finns tillgänglig för. Datamängdens totala tidsperiod baseras på data insamlad från flera mätstationer med olika långa tidsperioder som ofta överlappar varandra.
Återkomsttid	Den statistiska återkomsttiden för att en viss händelse ska inträffa. En händelse med återkomsttid om 100 år betyder att händelsen statistiskt sett inte inträffar mer frekvent än så. Händelsen har dock lika hög sannolikhet att inträffa varje år och kan teoretiskt (men extremt osannolikt) inträffa till exempel tre gånger under tre år.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Skyfall är en av två utpekade klimatrelaterade risker som Stockholms stad arbetar aktivt med, som bedöms ha störst påverkan på staden i närtid (Stockholms stad, 2021).

Det föreligger redan idag omfattande risk för stora skador till följd av översvämningar från skyfall, för samhällsfunktioner, stadens verksamheter och övriga privata och offentliga aktörers verksamhet och egendom. Detta är tydligt kartlagt genom stadens skyfallskartering men kan även härledas genom att studera konsekvenser som uppstått inom städer som haft större skyfallshändelser, till exempel Gävle år 2021 (Länsstyrelsen Gävleborg, 2022), där skadeståndskraven på kommunen i skrivande stund överstiger en miljard kronor (Svensk Försäkring, 2023).

För att kunna kartlägga risker för översvämning i samband med skyfall har, under det senaste decenniet, så kallade *hyetografer* ("regnkurvor") för nationell statistik använts. Dessa hyetografer beskriver hur skyfallets intensitet varierar över tid. Forskning från bland annat SMHI har dock tydligt visat att det finns betydande variationer i hur stora nederbörds mängder som faktiskt kan förväntas vid skyfall, inom olika delar av Sverige (se t.ex. SMHI och Svenskt Vatten (2020) och Olsson et.al. (2017)).

Med vetskap om forskningens bild i frågan, initierade trafikkontorets skyfallsfunktion under hösten 2022 en förstudie för att kartlägga möjligheterna att ta fram regnkurvor för extrema regn och skyfall, för Stockholms stads geografi med omnejd. För arbetet anlätades en konsult via kontorets ramavtal, där underkonsulter med nationell expertis i frågan ingick.

Förstudien visade att det högst sannolikt fanns fullt tillräckligt statistiskt underlag tillgängligt, i form av nederbördsmätningar av god kvalitet, för att ta fram sådana hyetografer och statistik. Under 2023-2024 genomfördes därför projektet "Stockholmsregn", där sådana kurvor utvecklats.

1.2 Mål och syfte

Detta utvecklingsprojekt benämns i rapporten som "Projektet" och det resultat som levererats inom Projektet benämns "Resultatet".

Projektets mål har varit att ta fram ett nya hyetografer för extrema regn och skyfall, som kan ersätta det nationella dimensioneringsunderlag som använts tidigare inom skyfallsutredningar, som vanligen utgörs av hyetografer designade enligt den s.k. metodiken Dahlström 2010 (Dahlström, 2010). Inom denna nationella metod är hyetografer i form av antingen så kallade CDS-regn (*Chicago Design Storm*) eller blockregn de mest frekvent använda.

Syftet med att ta fram Stockholmsspecifik statistik är att den ska kunna användas för att kartlägga skyfallsrisker på ett mer korrekt och tillförlitligt vis, baserat på de regionala förutsättningar som råder inom Stockholms stads geografi med omnejd, och inte efter generaliserad nationell data. Sammanfattat kan nedan punkter beskriva huvudsyftet med projektet:

- Översvämningsrisker till följd av skyfall ska kunna bedömas på ett mer korrekt och tillförlitligt vis än vad som tidigare varit fallet
- Åtgärder för att reducera skyfallsrisken ska kunna dimensioneras efter de faktiska förutsättningar som råder inom Stockholms stads geografi
- Staden ska erhålla bättre förutsättningar för att välja rätt typ av åtgärder för att hantera skyfallsrisker
- Staden ska kunna arbeta efter det senaste kunskapsläget och tydligt påvisa detta för tillsynsmyndigheter och andra externa parter
- Möjligheten till att initiera samverkan med externa aktörer underlättas, då staden kan visa att de underlag som används för bedömningar är anpassade efter stadens geografiska förutsättningar och därför är mer korrekta, vilket skapar tillförlitlighet till analysresultat.

1.3 Bemanning av Projektet

Stockholms stads skyfallsfunktion har projektlett och styrt arbetet, men anlitat konsulter för det tekniska genomförandet. De konsulter som anlätades inkluderar nationell expertis inom området. Bemanning från konsulter enligt Tabell 1 (primär projektgrupp) och Tabell 2 (referensgrupp) är de som genomfört Projektet.

Tabell 1 Primär projektgrupp hos avropade konsulter.

Namn	Organisation	Roll
Nina Johansson	Sweco Sverige AB	Uppdragsledare, seniorkonsult VA
Claes Hernebring	DHI Sverige AB	Seniorkonsult urbanhydrologi
Jonas Olsson	SMHI	Senior forskare hydrologi
Johan Södling	SMHI	Matematiker, statistiker

Tabell 2 Huvudsaklig referensgrupp som ingått i Projektet hos avropade konsulter.

Namn	Organisation	Roll
Lars-Gunnar Jansson	Sweco Sverige AB	Seniorkonsult nederbördsdata
Anders Granqvist	Sweco Sverige AB	Seniorkonsult nederbördsdata
Paul Widenberg	DHI Sverige AB	Seniorkonsult nederbördsdata
Mathias von Scherling	Tyréns AB	Seniorkonsult VA

Inom Projektet har genomförandet av olika arbetsmoment i huvudsak varit fördelat enligt Tabell 3. Trafikkontorets skyfallsfunktion har ansvarat för den slutliga analysen över hur Resultatet från Projektet kan användas inom stadens organisation.

Tabell 3 Arbetsmoment inom Projektet samt part(er) som varit huvudsaklig(a) utförare.

Arbetsmoment		Huvudpart
1	Projektleddning och koordinering av det upphandlade konsultarbetet.	Sweco
2	Insamling av historisk nederbördsdata från mätstationer och databaser.	Sweco, DHI
3	Kvalitetskontroll av insamlad nederbördsdata och bortsortering av datamängder som ej klarar kvalitetskrav.	Sweco, DHI
4	Bearbetning och analys av nederbördsdata (rådata).	DHI
5	Känslighetsanalys; kontroll av bland annat hur varierande regndefinition påverkar utfallet av totalt antal regntillfällen.	DHI
6	Diskussion över lämplig metod för att inkludera eller exkludera datamängder och stationer.	DHI, SMHI, Sweco, trafikkontoret
7	Framtagande av blockregnstatistik från färdigbearbetad data.	DHI
8	Beräkna konfidensintervall för blockregnstatistik.	DHI
9	Framtagande av CDS-kurvor från blockregnstatistik.	DHI
10	Verifiera metodik; framtagande av CDS-kurvor från blockregnstatistik.	Tyréns
11	Analys av kvalitetssäkrad och bearbetad nederbördsdata.	SMHI
12	Matematisk analys och val av metodik för att beräkna utseende av kurva (tid-intensitetsförloppet) för hyetografer.	SMHI
13	Statistisk analys för att identifiera relevanta parametrar för varaktighet för extrema regn, ”skewness factor”, med mera.	SMHI
14	Jämförelser med SMHI:s nationella stationsnät för nederbördsmätning.	SMHI
15	Kontroll och diskussion av metodval och matematiska analyser, kvalitet av analyser samt projektleveransens applicerbarhet.	SMHI, DHI, Sweco, trafikkontoret

Arbetsmoment		Huvudpart
16	Rekommendation över hur projektets resultat kan appliceras inom olika utredningar, dimensioneringsarbeten, investeringsprojekt, för Stockholms stads organisation.	Trafikkontoret

1.4 Omfattning

Inom Projektet har data i form av nederbördsmätningar samlats in från totalt 45 nederbördsstationer från Stockholms stad och närliggande kommuner inom Stockholms län.

Nederbördsmätningar har endast samlats in från ett sådant geografiskt område som med hög säkerhet kan sägas vara representativa för de förutsättningar som råder inom Stockholms stads geografi. Av denna anledning har nederbördsstationer som ligger bortom ett visst avstånd från kommungränsen valts att inte samlats in, även om nederbördsdata funnits tillgängligt. Till exempel har tillgänglig data från Uppsala och Norrtälje inte samlats in på grund av att det geografiska avståndet bedömts medföra större negativ påverkan i form av statistisk osäkerhet, än nyttan som dessa nederbördsdata skulle medfört.

Detta betyder dock inte att dessa data som valdes bort inte hade varit representativa för Stockholms stads geografi. Utan detta gjordes som en "säkerhetsåtgärd" för att enklare kunna resonera om underlagets tillförlitlighet.

Hög prioritet har lagts vid att ta fram ett Resultat som är av hög standard vad gäller tillförlitlighet och detaljeringsgrad. Detta eftersom mycket omfattande ekonomiska investeringar kan tänkas använda Resultatet som grund för att bedöma översvämningsrisken till följd av skyfall och vid dimensioneringen av åtgärder för att hantera dessa risker. Således måste det Resultat som tas fram inom Projektet vara av hög integritet.

Av denna anledning har projektet utfört ett flertal känslighetsanalyser, extra valideringskontroller, beräkning av konfidensintervall för delar av Resultatet, med mera.

Länsstyrelsen i Stockholm har i egenskap av tillsynsmyndighet delgetts information om Projektet och fått periodvisa avstämningar kring dess framdrift samt även närvarat på bland annat arbetsmöte och workshop inom Projektet. Skyfallsfunktionen har vid ett flertal tillfällen fört en dialog med Länsstyrelsen rörande hur myndigheten bedömer Projektets utformning, mål och syfte.

1.4.1 KLIMATFAKTOR

Inom Projektet har det inte ingått att utvärdera lokala förhållanden för en så kallad "klimatfaktor" specifikt för Stockholms stads geografi. Däremot har en analys gjorts av ansvarig expertmyndighets (MSB) rekommendation i frågan samt sammanställning från SMHI om klimatkfaktorer och hur de beräknas. Skyfallsfunktionen har sedermera gett en rekommendation om vilken klimatkfaktor som Stockholms stad bör använda. Rekommendationen baserar på information från både MSB och SMHI och är avvägt mot Stockholms stads verksamhetsförutsättningar.

2 Förutsättningar

Inom förstudien som genomfördes var målet att få fram ett så sannolikt regn som möjligt och så hög återkomsttid som möjligt. Nederbördsdata från ett 40-tal platser i Stor-Stockholm sammanställdes och analyserades tillsammans med historiska nederbördsdata för att få fram statistiken för häftiga regn.

Att Stockholms stad samt flertalet andra kommuner inom regionen mätt nederbörd på många platser och under en lång tid är en förutsättning för Projektets genomförande.

Nederbördsmätning fyller flera viktiga funktioner. Nederbörd och framför allt skyfall är lokala och därför är det viktigt att mäta nederbörd på flera platser. Nederbördsmätning är ett viktigt verktyg i utredningar av tillskottsvatten, planering av dagvattenhantering och i skyfallsutredningar. Att samla längre mätserier ger värdefull historik som kan användas för planering av staden.

2.1 Underlag

Inom detta kapitel beskrivs det underlag som samlats in inom Projektet.

2.1.1 HÖGUPPLÖST NEDERBÖRDSDATA

Med högupplösta nederbördsdata menas regnförlopp som registrerats med tidsupplösningen avsevärt kortare än en timme. Det kan antingen vara långa kontinuerliga serier av regndata eller data för enstaka regntillfällen. Regndata återges normalt som konstanta regn-intensiteter eller regnvolymer (volym-s-tillskott) under ett visst tidsintervall.

I VA-tekniska sammanhang har nederbördsintensitet angivits i enheten liter per sekund och hektar (l/s, ha). En annan vanlig enhet för nederbördsintensitet är millimeter per timme (mm/h). 0,36 mm/h motsvarar 1 l/s, ha. Vid avrinningsberäkningar är enheten l/s, ha (liter per sekund och hektar) mest praktisk att använda, varför den varit allennarådande i VA-tekniska tillämpningar. I fortsättningen av denna rapport förekommer därför denna enhet, omväxlande med volymsangivelser (mm per tidsenhet).

Moderna regnmätare för högupplöst nederbörd domineras av två huvudtyper: vägande mätare eller (vipp-) händelseregistrerande, se Figur 1.



Figur 1 Bild på vägande mätare respektive vippmätare.

Mätprincipen är vägande för de Geonor-instrument som SMHI:s automatstationer sedan mitten av 1990-talet är utrustade med. Det finns omkring 120 automatstationer inom Sverige som är försedda med nederbördsmätare. Ett fåtal kommunala installationer finns också. Principen är att en hink, där nederbörden samlas, står på en platta som hänger i två kedjor och i givaren. I givaren finns en sträng, som sätts i svängning med hjälp av en elektromagnet. När hinken blir tyngre ökar frekvensen på strängen. Frekvensen från strängen mäts och omvandlas till mm nederbörd. Upplösningen anges till 0.1 mm.

Sedan början av 1980-talet är den vanligaste mätaren för kommunala installationer av typen vippmätare, ”tipping bucket”, med vippvolymen 0.1 mm eller 0.2 mm (men även mera sällan 0.5 mm). Resultatet av regnmätningen blir en serie händelser (vippningar).

Nederbördsdata från dessa två mätprinciper är också principiellt olika. Från en vägande mätare bestäms tidsupplösningen av hur ofta data lagras. För en vippmätare är alltid volymsupplösningen lika med vippans volym, medan vipphändelsen kan registreras med sekundnoggrannhet. Fördelen med regndata från en vippmätare är att de blir mycket kompakta.

2.1.2 DATAKÄLLOR

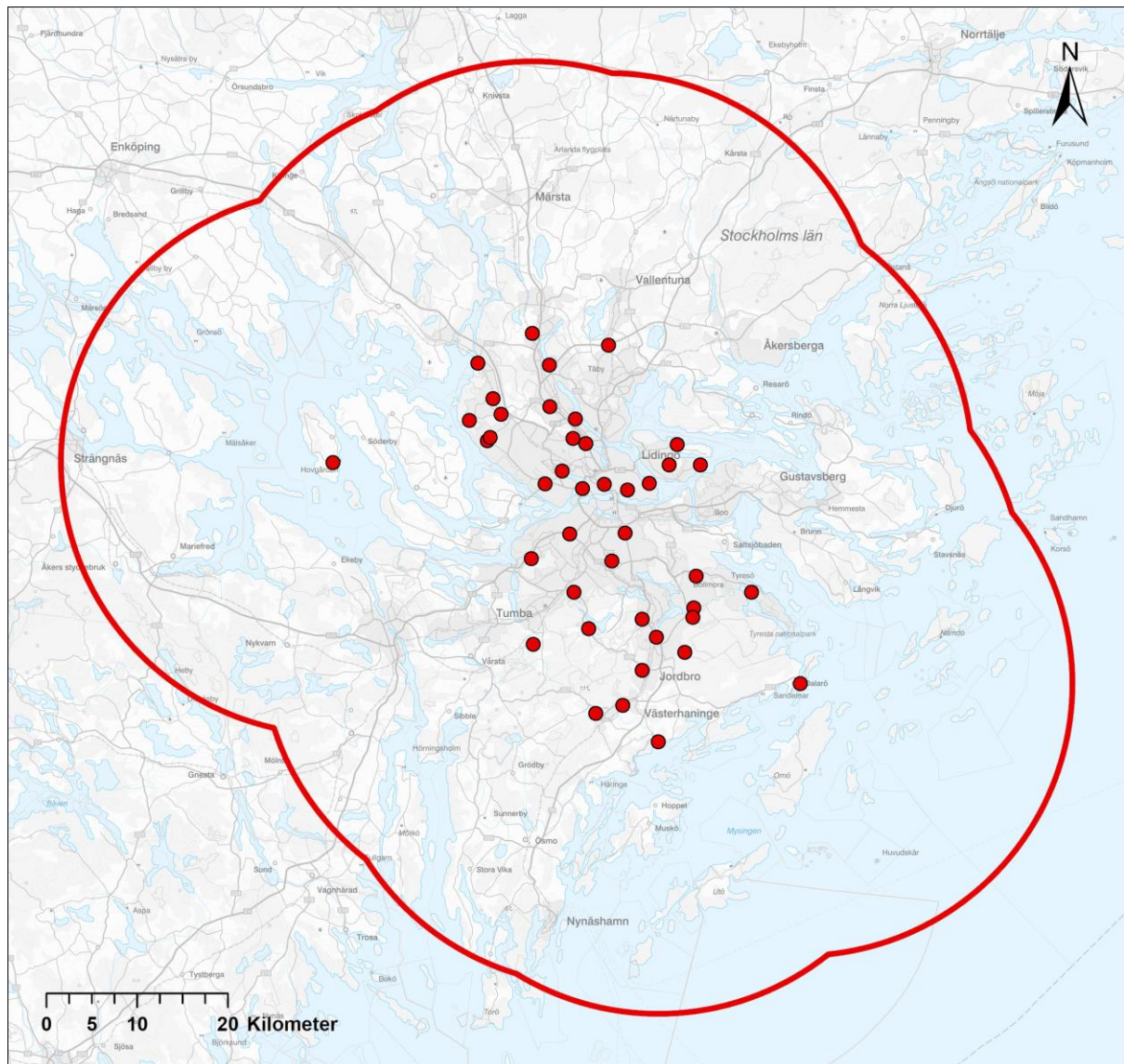
Efter en inventering av tillgängliga datakällor fram till och med oktober 2022, användes nederbördsmätningar från följande källor:

- DHI:s arkiv (ursprungligen SVOA)
- SWECO:s stationsnät ”Regn Stockholm” från flertal kommuner inom Stockholms län
- SVOA:s arkiv
- SMHI Open Data (Geonor 15-minuterdata)
- Mätstationer från SLB-analys (Geonor 15-minuterdata)

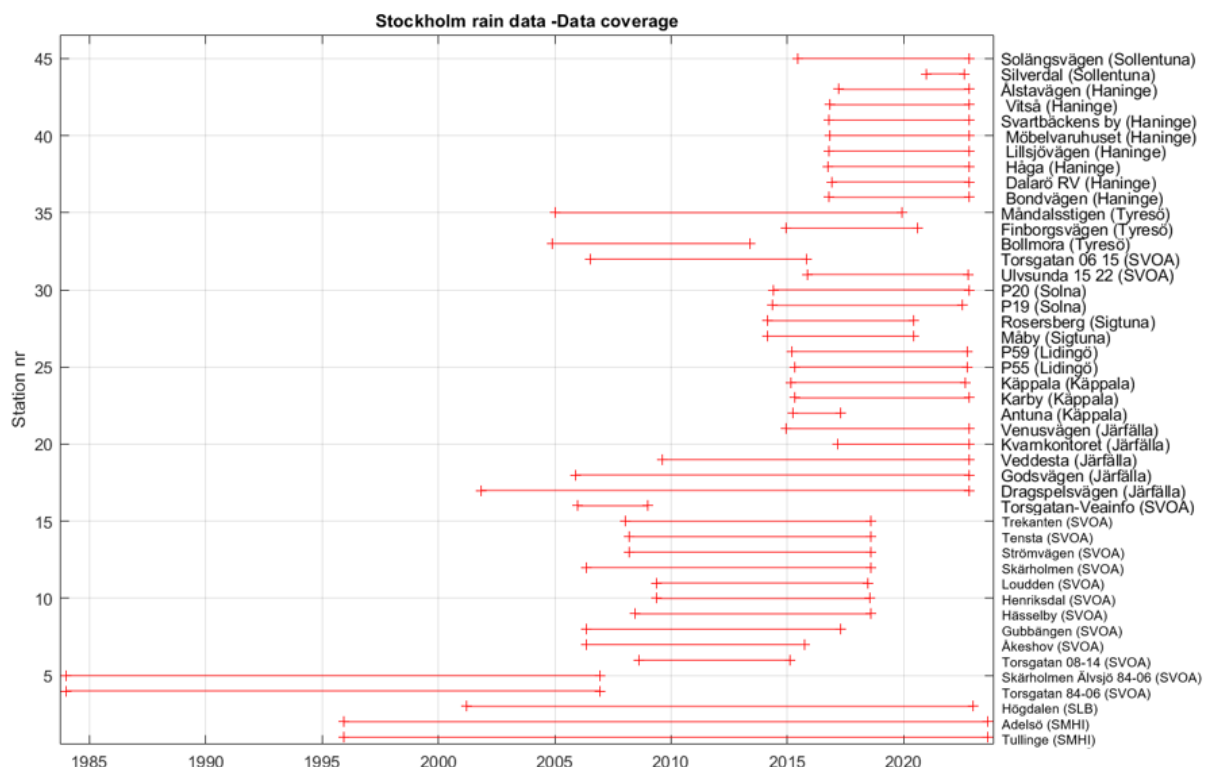
Datainsamlingen inleddes under 2022, och en förstudie redovisades i slutet på året. Efter kompletterande arkivsökningar och inhämtade av ytterligare regnserier under våren 2023 kunde ”stationsåren” för kvalitetsgodkända serier i förstudien (254) utökas till de som redovisas i denna rapport (348).

2.1.3 GEOGRAFISK UTBREDNING OCH FÖRDELNING I TID

I Figur 2 samt i Bilaga 1 visas den geografiska spridningen av nederbördsstationer som använts inom Stockholmsområdet där koordinatuppgifter funnits tillgängliga. Det framgår av Figur 3 att datamängden från dessa nederbördsmätningar har en tyngdpunkt nära nutid. I figuren är tidsseriernas början och slut indikerade. Avbrottsperioder, vilka ibland kunde vara omfattande, framgår inte. Bedömningar av dessa avbrottsperioder ingick i kvalitetskontrollen och redovisas i Tabell 4.



Figur 2 Geografisk lokalisering för de nederbördsstationer där koordinatuppgifter fanns tillgängliga och det område inom vilket framtagna typregn bedöms kunna appliceras.



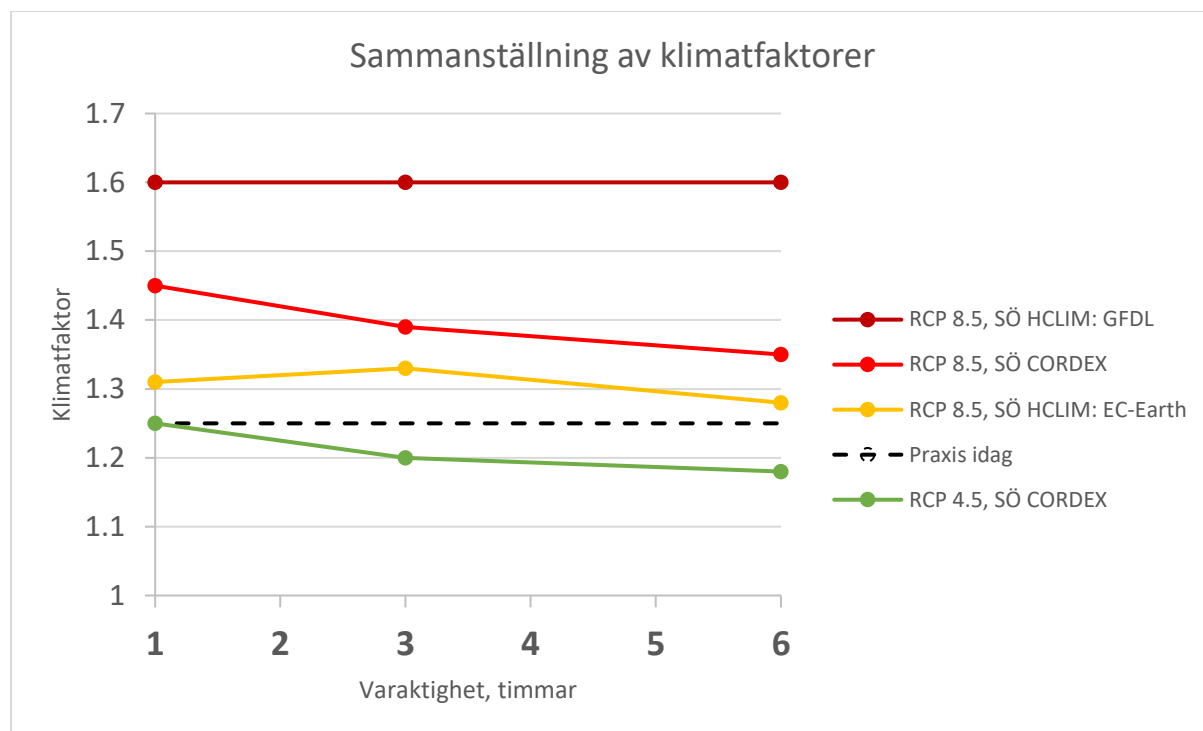
Figur 3 Datatäckning för 45 av de stationsdata som erhöles (alla data inte kvalitetsgodkända).

2.1.4 KLIMATFAKTOR

Det finns underlag inom forskningen om hur klimatförändringarna påverkar intensiteten och volymen av skyfall och extrema regn.

Det finns en hel del forskning från SMHI inom området. Under 2023 kom ett förtydligande i samband med att MSB gav ut publikationen *Metod för skyfallskartering av tätorter: vägledning* (MSB 2023). I denna vägledning rekommenderar MSB att man generellt bör utgå från RCP 8,5 i fysisk planering, samt att rekommenderad tidshorisont i de flesta tillämpningar är 50 till 100 år (se kapitel 2.4 i MSB (2023)). Samtidigt rekommenderar MSB i kapitel 2.4.2 att de flesta tillämpningar bör ha en planeringshorisont om minst 100 år. I tabell 5 i MSB (2023) fås med dessa rekommendationer en klimatfaktor motsvarande 1,40, eller möjligen högre, eftersom denna klimatfaktor gäller för perioden 2071-2100, vilket är en tidshorisont 47-76 år om man utgår från år 2024.

MSB:s rekommendation baseras på ett antal klimatmodeller som beräknats utifrån olika utsläppsscenarioer. Dessa finns sammanställda grafiskt för regn-varaktigheterna 1-6 timmar, i Figur 4, för perioden 2081-2100.



Figur 4 Sammanställning av klimatfaktorer för nederbörd med varaktighet 1-6 timmar, utifrån olika klimatmodeller och klimatutsläppsscenario, för tidsperioden 2071-2100. Resultaten avser skyfallsregionen SÖ där Stockholms stad ingår.

Sammanställningen i Figur 4 inkluderar resultat från de klimatmodeller och utsläppsscenario som funnits tillgängliga. Svart streckad linje visar den klimatfaktor som Stockholms stad använder då föreliggande rapport färdigställdes, vilken är 1,25.

3 Metodik

3.1 Kvalitetssäkring och bearbetning av underlag

Data från ”modern tid” kontrollerades mot närmaste SMHI-station (Tullinge resp. Adelsö), vilka anses vara av hög kvalitet då de underhålls regelbundet och data kvalitetsgranskas. Ibland kunde avståndet dock bli ganska långt mellan SMHI:s referensstation och den nederbördsstation som kvalitetsgranskades, varför perfekt överensstämmelse inte krävdes (eftersom avståndet mellan stationer medför att viss differens bör förväntas).

Syftet med kontrollen är att säkerställa att totalvolym och förlopp stämmer överens med referensstationen utan orimliga avvikelser. Vidare korrelerades uppmätta dygnsvärden under mätperioden mot varandra, och några dygnsförlopp med timvärden jämfördes. Avbrottsperioder detekterades förenklat genom att datauppehåll mer än 30 dagar listades. Om dessa inträffade vintertid fästes inget avseende vid dem. Avbrottsperioder sommartid innebar ett avdrag på seriens bruttovaraktighet. Data som hämtats från DHI:s arkiv från tidigare projekt kontrollerades inte här, då denna process får förutsättas ha skett tidigare.

Det ska också nämnas att, eftersom SMHI-data alltid anges i koordinerad universell tid (UTC-tid), så har dessa SMHI-data flyttats tideräkningsmässigt till svensk sommar/vintertid (CEST, CET). Detta eftersom alla kommunala tidsserier registrerats så.

En lista med stationsdata med godkända kriterier finns i Tabell 4 nedan.

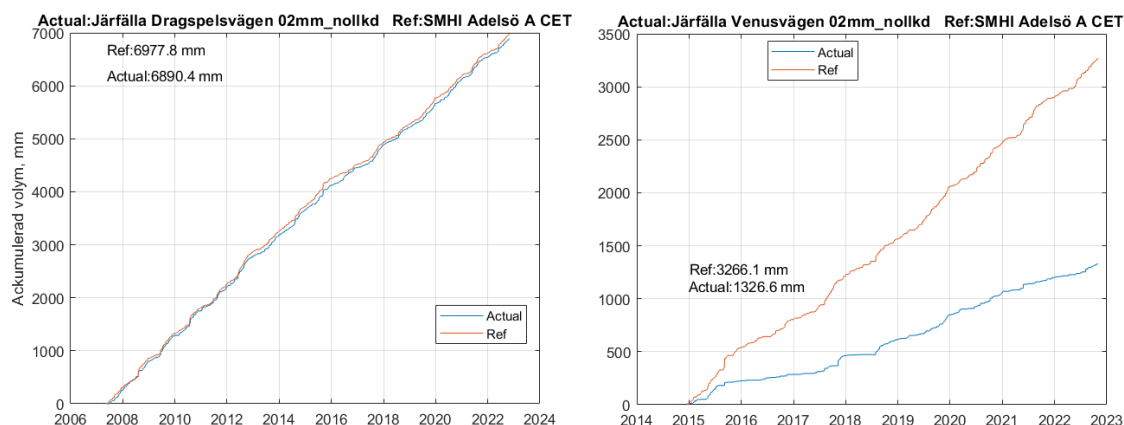
Tabell 4. Förteckning över kvalitetsgodkända dataserier med högupplöst nederbörd från Stockholmsområdet.

Benämning	Antal regn	Bruttovaraktighet, år	Avbrott, år	Korrigerad varaktighet, år
<i>Adelsö (SMHI)</i>	1546	26,90	-	27,70
<i>Tullinge (SMHI)</i>	1735	27,70	-	27,70
<i>Torsgatan84 (SVOA)</i>	1240	22,95	1	21,95
<i>Älvsjö_Skärholmen (SVOA)</i>	1258	22,95	1	21,95
<i>Godsvägen (Järfälla)</i>	1008	20,99	1	19,99
<i>Dragspelsvägen (Järfälla)</i>	815	15,49	0,16	15,33
<i>Måndalsstigen (Tyresö)</i>	698	14,91	0,75	14,16
<i>Skärholmen (SVOA)</i>	701	12,22	0,53	11,7
<i>Högdalen (SLB)</i>	709	21,60	9,96	11,64
<i>Trekanten (SVOA)</i>	502	10,55	0,08	10,5
<i>Gubbängen (SVOA)</i>	559	10,93	0,57	10,4
<i>Tensta (SVOA)</i>	545	10,38	0,58	9,8
<i>Torsgatan (SVOA)</i>	537	9,31	0,25	9,06
<i>Hässelby (SVOA)</i>	430	10,13	1,27	8,9
<i>Strömvägen (SVOA)</i>	543	10,38	1,92	8,5
<i>Henriksdal (SVOA)</i>	408	9,19	1,12	8,1
<i>Bollmora (Tyresö)</i>	458	8,47	0,77	7,70
<i>Käppala (Käppala)</i>	391	7,47	0	7,47
<i>Åkeshov (SVOA)</i>	456	9,37	2,21	7,2
<i>Ulvsunda_15 (SVOA)</i>	340	6,93	0,6	6,33
<i>Måby (Sigtuna)</i>	345	6,27	0,08	6,19
<i>Bondvägen (Haninge)</i>	350	6,06	0,06	6
<i>Svartbäckens_By (Haninge)</i>	359	6,06	0,1	5,96
<i>Möbelvaruhuset (Haninge)</i>	344	6,01	0,1	5,91
<i>Lillsjövägen (Haninge)</i>	310	6,06	0,2	5,86
<i>Håga (Haninge)</i>	344	6,07	0,25	5,82
<i>Dalarö (Haninge)</i>	310	5,92	0,22	5,70

Benämning	Antal regn	Bruttovaraktighet, år	Avbrott, år	Korrigerad varaktighet, år
Vitså (Haninge)	323	6,01	0,34	5,67
Finborgsvägen (Tyresö)	317	5,65	0,2	5,45
Ålstavägen (Haninge)	315	5,61	0,3	5,31
Loudden (SVOA)	181	9,10	4,08	5,0
P19 (Solna)	250	8,15	3,93	4,22
Antuna (Käppala)	73	2,05	0	2,05
Silverdal (SEOM)	87	1,64	0	1,64
City (SVOA)	22	0,44	-	1
Ebbadal (SVOA)	22	0,37	-	1
Enskede_extra (SVOA)	25	0,44	-	1
Enskede (SVOA)	26	0,44	-	1
Huddinge (SVOA)	24	0,44	-	1
Hässelby (SVOA)	26	0,44	-	1
Kista (SVOA)	24	0,43	-	1
Loudden (SVOA)	18	0,44	-	1
Länna (SVOA)	26	0,44	-	1
Skärholmen (SVOA)	21	0,45	-	1
Åkeshov (SVOA)	25	0,44	-	1
SUMMA	19046		SUMMA	347,64
		Varav högupplöst data (under 15 min samplingstid)		270,29

Till denna lista kom data från 11 stationslokaliseringar i Stockholm där SVOA registrerat data under sommarperioden 2022. Dessa stationsår, 11 stycken, är inkluderade i summan i tabellen. Totala antalet stationsår är 348. Om de stationer som registrerar 15-minuter nederbörd (SMHI Tullinge, SMHI Adelsö och SLB Högdalen) exkluderas blir antalet stationsår 281. Antalet dataserier är 45 st. Det finns dataserier där lokaliseringarna ibland varit densamma (ex. Torsgatan) men där olika tidsperioder avses.

I Figur 5 visas exempel från kvalitetskontrollen av data. Kriteriet i kvalitetsgranskningen avsåg i detta fall jämförelse av totalvolym och förlopp inom respektive series varaktighet med en referensstation (i båda fallen med SMHI Adelsö A). Slutsatsen utifrån dessa två exempel blev att mätstation Dragspelsvägen (Järfälla) bedömdes ha fullgod kvalitet medan Venusvägen (Järfälla) inte har det och därför sorterades bort.



Figur 5. Exempel på kvalitetsgodkänd (vänster) respektive underkänd (höger) dataserie.

3.2 Regndefinition

För att användas för analys måste varje mätserie först delas in i separata oberoende regntillfällen. Ett regntillfälle definieras bland annat av uppehållsperiodens längd före och efter regnet. Applicerbara uppehållsperioder varierar vanligen mellan 30 minuter och 6 timmar och i Projektet har 6 timmar använts.

Uppehållsperioder, som är kortare än den definierade tiden mellan två regntillfällen räknas in i regnet vilket innebär att ett regntillfälle kan inkludera flera ”regnskuror”. Från detta urval exkluderas sedan regn som inte är av intresse som är volymfattiga (<2 mm) och lågintensiva (<0.1 mm/h). Antalet regntillfällen inom respektive dataserie som urskilts på detta sätt framgår av Tabell 4 ovan (kolumnen ”Antal regn”).

Den valda uppehållsperioden på 6 timmar är en arbetsbesparande kompromiss som medförde att endast en bearbetning av tidsserierna (med den totala varaktigheten på ca 350 stationsår) behövde genomföras. Alternativet hade varit att göra multipla bearbetningar med varierande (kortare och eventuellt längre) uppehållstid i regndefinitionen. Indelningen i regntillfällen med en kortare uppehållstid innebär till exempel att två regnskuror kan separeras som två regntillfällen, medan de med den längre uppehållstiden möjligen ses som delar av ett och samma tillfälle. Detta bedöms inte på något avgörande sätt påverka här redovisad statistik.

3.3 Stationsårsmetoden

För att erhålla ett större statistiskt underlag slogs datamängderna ihop till *en* gruppering, vilket är en metod som först beskrivs av Falk (1951) - benämnd ”stationsårsmetoden”. Hernebring (2008) diskuterar metodens begränsningar. Den bygger på det inte finns någon anledning att förvänta sig skillnader i nederbördsmönster mellan de stationsdata som slås ihop, exempelvis nederbördsräknare inom en ort, Stockholmsområdet som här.

3.3.1 OBEROENDE AV STATIONSDATA

Vid en statistisk analys ska denna baseras på ”oberoende” händelser. Detta tillgodoses här för varje delserie i regndefinitionen vid utplockning av regnhändelse, främst genom ”uppehållstiden”. I detta fall med 6 timmar uppehållstid, anses ett regntillfälle som inträffar åtminstone 6 timmar senare än ett annat, vara ”oberoende” av det förra.

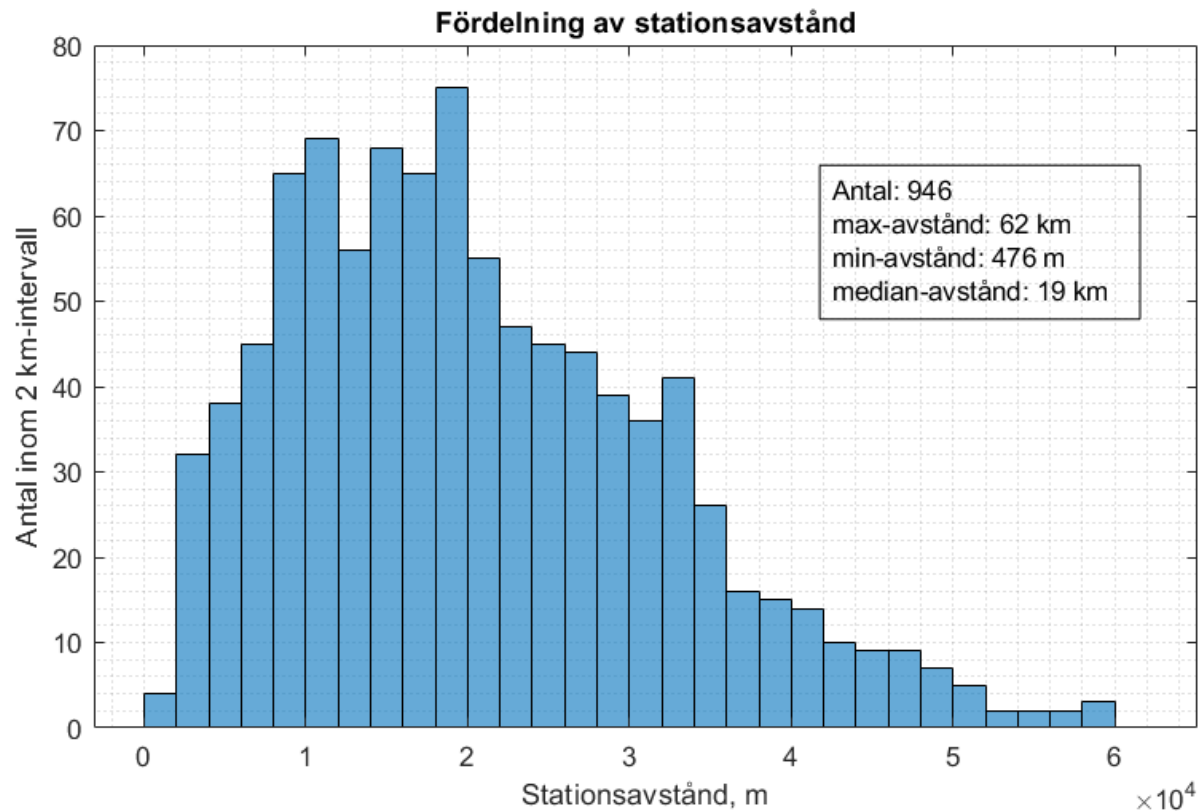
Hernebring (2006) undersökte ”oberoendet” i detta avseende och fann att en uppehållstid på minst 2 timmar medförde en samvariation (covarians) på mindre än 2 %, vilket tolkas som ”oberoende”.

Stationsårsmetoden innebär att det inte tas någon hänsyn till att två stationer eventuellt har fångat ”samma” regntillfälle. Det är i själva verket högst sannolikt att det regnar på flera ställen samtidigt inom, ett närbeläget område, likt geografiska området i denna studie: Stockholmsområdet.

Falk (1951) skriver att ”stationsårsmetoden ger riktiga resultat även när mätpunkterna ligger omedelbart intill varandra”. Statistiskt jämförbart resultat (inom rimliga gränser) kan erhållas genom att analysera en tidsserie av nederbörden och jämföra den med motsvarande tidsserie dubblad och följaktligen erhålls stationsåren dubblade.

Vissa författare fäster vikt vid avståndet mellan mätstationer för att bedöma graden av oberoende, exempelvis Olsson *et.al.* (2017), vilka har gjort en korrelationsanalys för att beräkna på vilket avstånd extrem korttidsnederbörd kan anses statistiskt oberoende, vilket anges som önskvärt om stationsårsmetoden ska tillämpas. Extremer med 15 minuter varaktighet ansågs som okorrelerade på avstånd över cirka 10 km, samt att extremer med 6 timmars varaktighet ansågs som okorrelerade på avstånd över cirka 30 km. Man kan alternativt hävda att korrelationen/samvariationen är mera kopplad till skalan/utbredningen av häftiga regn och bedömningen av arealnederbörd, se exempelvis Hernebring (2008).

Bortsett från att det eventuellt ska ha betydelse, så kan den aktuella fördelningen av stationsavstånd beräknas enligt Figur 6. Eftersom den geografiska informationen i Figur 2 består av projicerade koordinater, så går det enkelt att räkna ut avstånd. Ett betydande antal stations-kombinationer skulle falla bort om ovan angiven avståndsregel tillämpades. Inom parentes så uppkommer det kortaste avståndet över kommungränsen Stockholm/Järfälla – mellan stationerna Hässelby (SVOA) och Venusvägen (Järfälla). Den senare serien föll tyvärr bort i kvalitetskontrollen, vilket framgick tidigare.



Figur 6 Stationsavstånd mellan 44 stationer med lokaliseringar (för 946 regntillfällen), enligt Figur 2.

En annan indikation att man lyckats fånga förment oberoende regntillfällen är att betrakta dateringen för de intensivaste rangordnade regntillfällena och om samma datering förekommer vid flera lokaliseringar. Från den samlade datamängden som har bearbetats plockades datum ut för de 5 största regnintensiteterna inom varje varaktighet (5 minuter – 24 timmar), totalt 15 olika varaktigheter. De 5 största datapunkterna kan bedömas ha stor vikt vid de statistiska utvärderingarna, se

Tabell 5.

I tabellen beskriver t.ex. första raden att det 1984-07-14 föll så mycket nederbörd att hela 14 varaktigheter för nederbörd hade en av sina 5 mest intensiva regnhändelser detta datum. Det var dock bara en nederbördsstation där dessa varaktigheter under detta datum hade ett av sina 5 mest intensiva nederbördstillfällen. Detta tyder då på att regnet 1984-07-14 var synnerligen extremt inom en avgränsad geografisk utbredning, även om det sannolikt föll betydande mängder nederbörd inom ett större område.

Tabell 5 Datering för de 5 största regnintensiteterna inom 15 olika varaktigheter (5 minuter – 24 timmar), antal förekomster samt inom vilka hur många stationer de förekommer.

Unika datum	Antal varaktigheter under regntillfället, som varit i "topp 5 regnintensitet".	Antal stationer där samma varaktighet registrerats	Varaktighet av block (min)
1984-07-14	14	1	
1992-07-27	3	1	
2001-07-10	1	1	
2002-08-15	2	1	
2005-07-21	11	1	
2006-07-29	5	1	
2006-10-04	1	1	
2010-07-29	2	1	
2014-07-27	2	1	
2014-08-07	4	1	
2015-09-06	5	3	1440
2019-08-05	3	1	
2021-06-12	12	1	
2021-07-28	10	2	20

2021-07-28 registrerades intensiv 20-minutersnederbörd i 2 stationer i Haninge, belägna på cirka 10 km avstånd från varandra. Om regn-data granskas i detalj framgår att intensitetstopparna inträffar med cirka 4 timmar tidsavstånd. Är det "samma" regntillfälle? Det är osannolikt att loggningstidpunkterna i respektive datalogger skulle vara så osynkroniserade.

2015-09-06 registrerades extrem 24-timmars (1440 minuter) nederbörd i 3 stationer 2 st. i Järfälla samt i SMHI Adelsö A. Sannolikt är det "samma" regntillfälle, men det har här inte föranlett någon åtgärd vid den statistiska bearbetningen.

Sammanfattningsvis om oberoende av stationsdata:

Samtliga utplockade regntillfällen har använts för den statistiska analysen. Inte något regntillfälle har plockats bort med anledning att det skulle vara "beroende" av något annat vid en annan station. Om så hade skett tillkommer den metodologiska svårigheten att avgöra hur denna åtgärd skulle påverka plottningspositionen för kvarvarande datapunkter. I framställningen ovan har framgått att, i varje fall gällande de 5 största intensiteterna för regnvaraktigheter från 5 minuter till 24 timmar, inträffar händelsen sällan vid flera stationslokaliseringar och därför bör kunna betraktas som "oberoende".

Den eventuella påverkan på här redovisad statistik som ett "felaktigt" inkluderande av "beroende" händelser skulle innebära går åt det "säkra" hållet: det skulle medföra en överskattning av "verklig" statistik.

3.4 Framtagande av blockregnstatistik

3.4.1 FÖRPROCESSERING

Av beräkningsekonomiska skäl raderades initialt de datarader i Geonor-data, som inte innehöll någon regn-information (värdekolumn = 0). En preliminär indelning av regntillfällen gjordes sedan genom att (ett mycket begränsat antal) nollor sattes in i dataserien efter huvudregeln: "Om det är ett tidsavstånd större än 2 timmar mellan två datarader sätt in en nolla 30 minuter före den sista dataraden i intervallet". Det gjordes ett "kosmetiskt" undantag från denna regel baserat på trenden i påföljande tidsintervall/vippning (steget efter det första tidssteget i regnet). Om trenden indikerade att regnstart bedömdes inträffa senare än "huvudregeln", sattes nollan in där – fortfarande inom aktuellt 30-minutersintervall.

Denna operation medförde att Geonor-rådatafilerna (fasta 15-minutersvärden) reducerades till mindre än 5 % i storlek, utan att någon information väsentlig för analysen gått förlorad.

Vipp-data är från början kompakta med enbart vippetidpunkter. En "preliminär" indelning av regntillfällen gjordes även där, genom att ett begränsat antal nollor sattes in enligt samma regel som ovan.

Förprocesseringen och insättningen av nollor görs för att särskilja regntillfällen och skapa ett dataunderlag som lämpar sig för statistisk analys.

3.4.2 BEARBETNING AV INDIVIDUELLA REGNSERIER

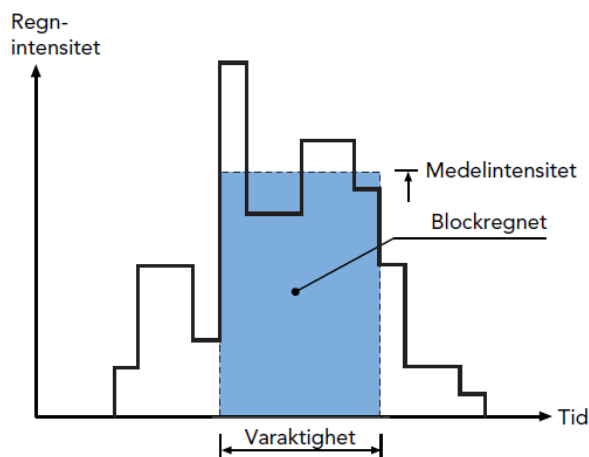
Nästa steg i arbetet att bearbeta regnserier är att ta fram maximal medelintensitet för olika varaktigheter av regn.

Ett regns maximala medelintensitet för en viss varaktighet, definieras som det största medelvärde nederbördsintensiteten har under någon del av regnet, för den givna varaktigheten, se Figur 7

3.4.3 BEARBETNING AV INDIVIDUELLA REGNSERIER

Nästa steg i arbetet att bearbeta regnserier är att ta fram maximal medelintensitet för olika varaktigheter av regn.

Ett regns . För varaktigheter längre än regnets verkliga varaktighet kan medelintensiteten beräknas genom att dividera den totala regnvolymen med varaktighetens längd.



Figur 7 Bestämning av maximal medelintensitet för en viss varaktighet under ett regntillfälle. Bild från Svenskt Vatten P104 (Svenskt Vatten, 2011).

De beräknade maximala medelintensiteterna bearbetas statistiskt för alla varaktigheter av intresse. Intensitetsvärdena sorteras i fallande ordning och med hjälp av en så kallad plottningsformel bestäms frekvens eller återkomsttid för varje intensitetsvärde eller grupp av värden. Intensitetsvärdena kan därefter redovisas grafiskt för varje varaktighet i form av intensitetsvärden som funktion av återkomsttiden. En kurva kan dras mellan punkterna för hand eller så anpassas en teoretisk fördelningsfunktion till punkterna.

Varje stationsserie bearbetades var för sig, och resultaten är möjliga att utvärdera enskilt statistiskt. Detta redovisas inte här, utan arbetet koncentrerades på att göra en samlad utvärdering av hela datamängden enligt följande avsnitt.

Vid stationsbearbetningarna användes en enhetlig regndefinition och samma regnvaraktigheter (5 minuter upp till 24 timmar) som skulle utvärderas. Detta för att underlätta arbetsflödet och göra sammanställningar smidigare.

En hake är då exempelvis att SMHI:s automatstationsdata är insamlade med fasta 15-minuter intervall, och utvärdering av statistik för kortare varaktigheter blir något felaktig för dessa data.

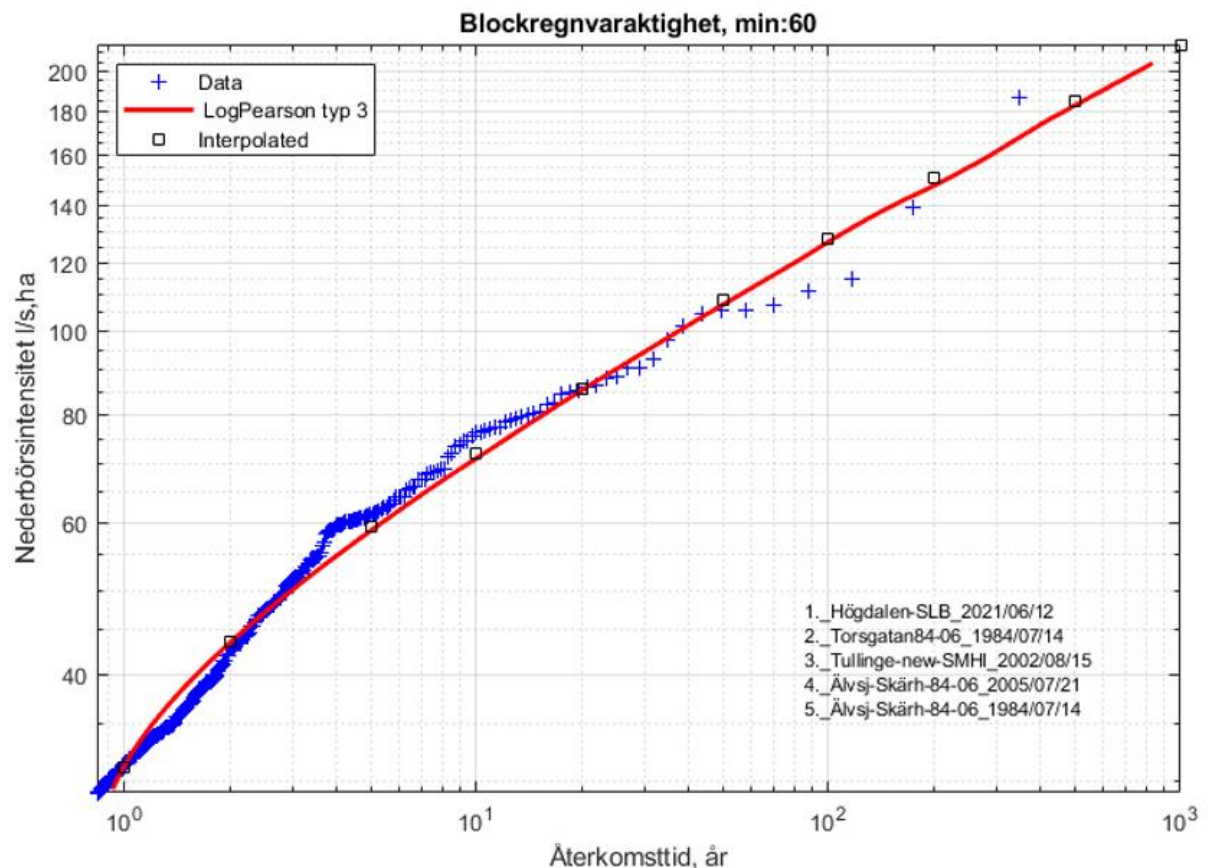
Vidare användes, som nämnts tidigare, i regndefinitionen en ”uppehållstid”, det vill säga den tid inom ett regn som tillåts passera innan tillkommande nederbördsinformation bedöms tillhöra ett nytt regn, på 6 timmar. Detta för att få en mer korrekt volymskattning av regn med långa varaktigheter. Detta kan innebära att statistiken för kortare regnskuror möjligen underskattas. Då majoriteten av stationsdata i denna studie, 42 av 45, kommer från vipp-mätningar anses detta var underordnat.

3.5 Statistisk fördelning av blockregn

Några av de utvärderade blockregnsvaraktigheterna redovisas senare i tabellform i rapporten. I Figur 8 ges exempel från statistisk utvärdering av 60-minutersintensiteter. För de 5 största sorterade intensiteterna anges (i figuren) vid vilken station och datum de inträffat. Anpassning till en statistisk fördelning ges med en röd kurva. Vid jämna återkomsttider anger fyrkanter interpolerade (ibland extrapolerade) värden. Dessa värden återges alltså i tabellform senare.

Hur många regn som används vid funktionsanpassningen har betydelse för utvärderingsresultatet. Antalet regn att bearbeta statistiskt väljs vanligen till cirka 10 gånger antalet stationsår för enstaka stationsbearbetningar. Detta antal (för enstaka stationsserier) har visat sig vara en rimlig kompromiss mellan ”för många” (som innebär att mindre tillfällen blir en ”tvångströja” som ger dålig anpassning för de mest extrema), och ”för få” (som ger överdriven vikt till de allra största regnen).

Det förra förhållandet kan bli fallet om samma regel tillämpas, för urval av intensitetsvärden som nämnts ovan, även för sammanslagna data. Där kan antalet stationsår bli avsevärt över 100–200 år. Då väljs lämpligen antalet regn 1,2 gånger summan stationsår ut för statistisk analys. I detta fall har de 420 största (för hela datamängden med 350 stationsår) respektive de 336 största (för datamängd där Geonor-data exkluderats) intensitetsvärdena utgjort population för statistisk analys.



Figur 8 Exempel på utvärdering av 60-minuter blockregns-intensiteter med stationsårsmetoden. Antalet rangordnade regn-intensiteter (blå plus): 420 st. De fem största regnen (med högst återkomsttid) finns utskrivna med plats och datum som de registrerades, i figuren.

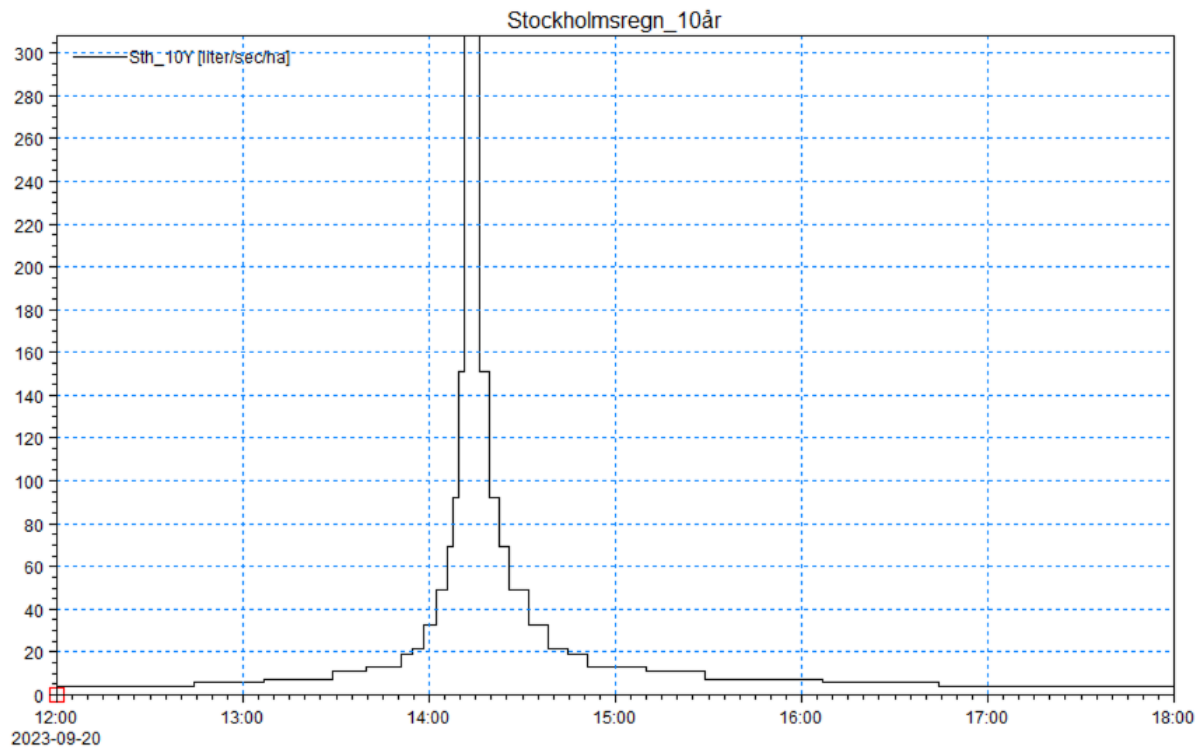
3.6 Framtagande av CDS-regn

Datormodeller för beräkning av avrinning kräver som indata värden på nederbörsintensitetens variation med tiden, en så kallad hyetograf. Två typer av nederbörsdata kan då användas, dels verkliga historiska regn, dels så kallat typregn. Ett typregn är ett beräkningsregn, som är utvecklat för dimensionering eller analys av en eller flera delar av till exempel ett avloppssystem, såsom ledningar och/eller utjämningsmagasin. De flesta typregn är kopplade till en återkomsttid och flödesvärdet, som beräknas med typregnet som indata, antas erhålla samma återkomsttid som regnet. Viktiga egenskaper hos typregnen är totalvolymen, tidsförloppets utseende samt intensitetsmaximum (regntoppens) storlek och läge. Exempel på typregn för dimensionering och analys av ledningar samt magasin är CDS-regnet (Chicago Design Storm) och SIFNELL-regnet, se Arnell (1991).

1957 presenterades i Chicago ett typregn som internationellt går under beteckningen Chicago-regnet. För att man inte skall tro att vi använder regndata från Chicago i Sverige benämns regnet här "CDS-regn". Den viktigaste egenskapen hos CDS-regnet är att maximala medel-intensiteter för olika varaktigheter följer intensitets-varaktighetsdata (eller en ekvation som är en anpassning till dessa data).

Vid konstruktion av CDS-regnet bör man ha en uppfattning om skevhetsfaktorn "r" (förhållandet mellan tidsavståndet från regnets start till regntopp och regnets totala varaktighet). Arnell (1991) rekommenderar att $r = 0,37$ används. Ett värde $r = 0,5$ innebär att intensitetsmaximum finns mitt i regnet (och kallas då Thorndahls-regn).

I kommentardelen till Svenskt Vatten P104 finns principer angivna för konstruktion av ett CDS-regn som är sammansatt av blockregn med olika varaktighet (Svenskt Vatten, 2011). Här har dessa tillämpats på resultatet av utvärderingen av de data som samlats in och bearbetats i Projektet (denna hyetograf benämns här "Stockholm 2022"). Den totala varaktigheten ska minst vara lika stor som koncentrations/-rinntiden inom det aktuella avrinningsområdet + säkerhetsmarginal. Här har valts att använda värden för blockregns-intensiteter från 5 minuter upp till 360 minuter. I Figur 9 visas Stockholmsregnets CDS-regn med 10-års återkomsttid.



Figur 9 Ett så kallat CDS-regn med 10 års återkomsttid konstruerat från intensitets-varaktighetsdata i Tabell 7*Fel! Hittar inte referenskälla.* och med skevhetsfaktor 0.31.

Det ska betonas att hyetografen som tagits fram på detta förenklade sätt består av data som har varierande tidssteg, är icke-ekvidistanta. Intensitetsdata i tabellvärdena i figuren ska vidare tolkas (och representeras i figuren) som ”intensitet sedan föregående tidssteg” - inte ”från punkt till punkt”. För programvara för avrinningsberäkningen som tolkar/använder data på annat sätt får produktionen av typregnet anpassas till detta.

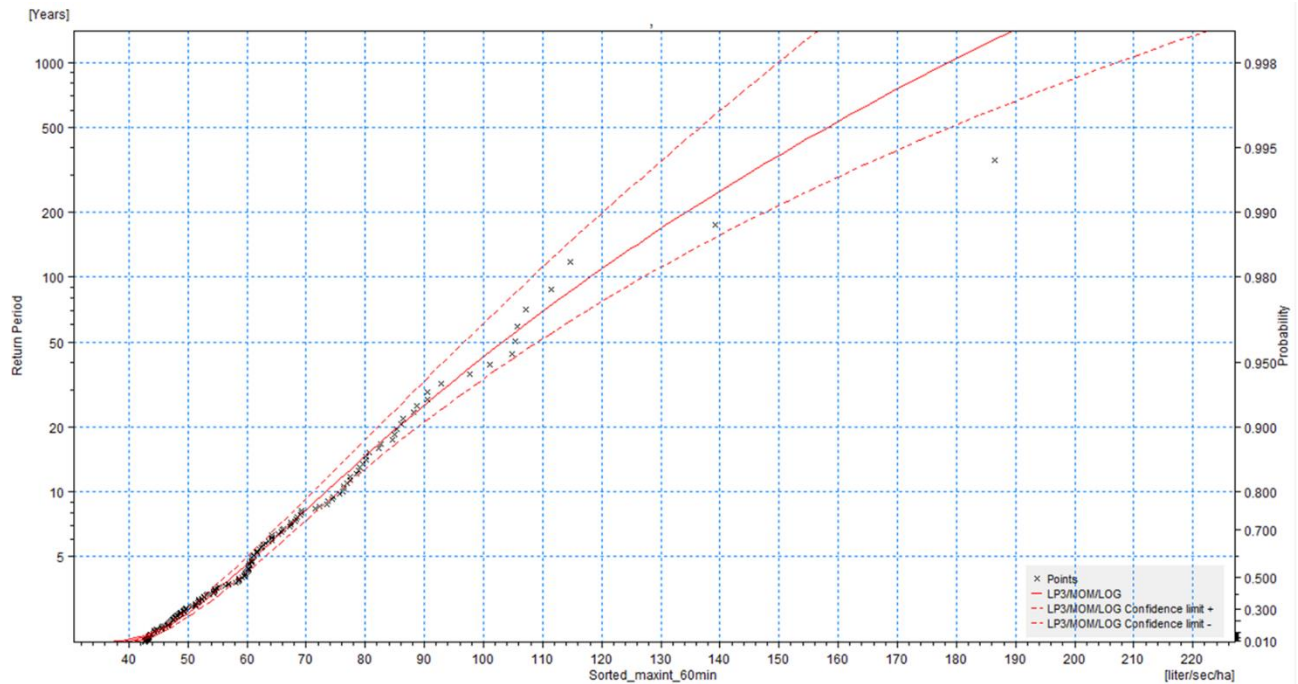
I Svenskt Vatten P104 anges att fördelen med CDS-regnet är att enbart en avrinningsberäkning behöver göras för varje återkomsttid eftersom alla varaktigheter är inkluderade i ett regn (Svenskt Vatten, 2011).

Nackdelar är att regnet har en onaturligt spetsig form och att data från en intensitets-varaktighetskurva består av data från olika historiska regn eftersom varje varaktighet bearbetas separat vid utvärdering av data. Detta medför att det totala CDS-regnet får en återkomsttid som troligen är längre än återkomstiden för individuella punkter på intensitets-varaktighetsdata.

3.7 Konfidsensintervall för blockregn

För blockregn med statistisk återkomsttid 1-2 år har konfidsensintervallet utvärderats. Som underlag för analysen har de 175 största sorterade 60-minuttsintensiteterna (från datamängden med 350 stations-år) valts ut. Det 175:e värdet motsvarar alltså ett 2-årsregn. Detta för att återkomsttider ≤ 1 år inte kan bestämmas med denna metodik.

Intensitetsvärdena är plottade i Figur 10. Datamängden är en del av de som redovisas i Figur 8 avseende 60-minutersintensiteter med 420 rangordnade värden. Populationsstorleken är alltså olika, vilket resulterar i att skattningen av resulterande statistik inte helt överensstämmer mellan metoderna. De streckade linjerna anger avståndet från skattat värde (plus/minus en standardavvikelse). Konfidsensintervallet är beräknat med s.k. Frequency factor (q) = 1, vilket innebär 68 % konfidsensintervall.



Figur 10 Statistisk utvärdering av sorterade 60-minutersintensiteter.

Figur 10 visar återkomsttid för händelse som återfinns på vänstra y-axeln, med intensitet l/s, ha återfinns på x-axeln. I den högra y-axeln anges händelsens osäkerhet som procent av skatta värde. Röd heldragen linje visar skattat värde och streckade röda linjer visar konfidensintervallet.

Osäkerheten, uttryckt som procent av skattat värde, ökar från cirka $\pm 3\%$ till cirka $\pm 8\%$ från 10-årsregn respektive 100-årsregn, vilket framgår i Tabell 6. Det framgår av Figur 10 att ytterligare extrapolering medför att konfidensintervallet ökar markant.

Tabell 6 Skattning av statistik för 60-minutersintensiteter samt konfidensintervall.

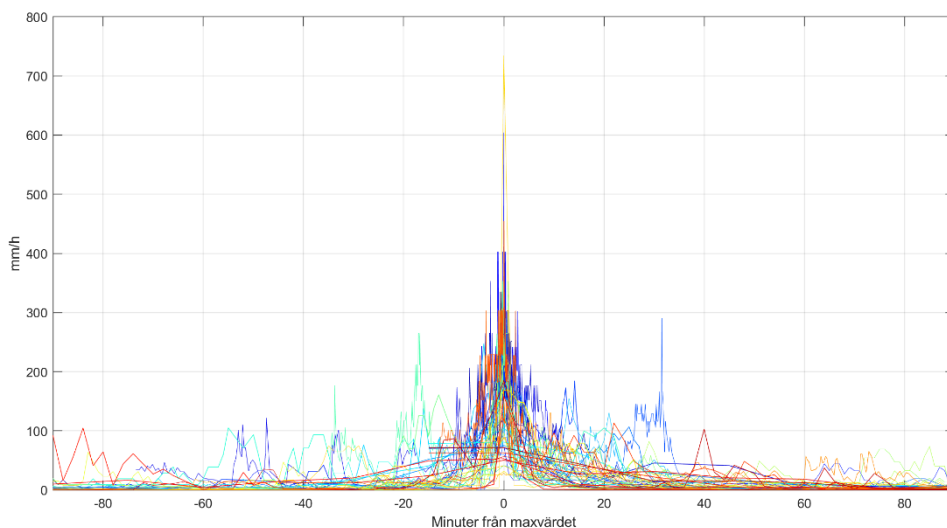
Återkomsttid (år)	Blockregnsintensitet (l/s, ha)	Blockregnsvolym (mm)
10	$72,4 \pm 2,1$	$26,1 \pm 0,8$
20	$85,1 \pm 3,3$	$30,6 \pm 1,2$
50	$103,0 \pm 6,2$	$37,1 \pm 2,2$
100	$117,9 \pm 9,4$	$42,4 \pm 3,4$

3.8 Bearbetning av data för anpassning till hyetografer

Följande bearbetning gjordes på de 500 regnhändelser med högst 6 timmar-nederbörd:

1. Händelsens data interpolerades från vippvärden till minutintensiteter med linjär interpolation.
2. Händelsens centerades så att den högsta minutintensiteten hamnar på $x=0$.

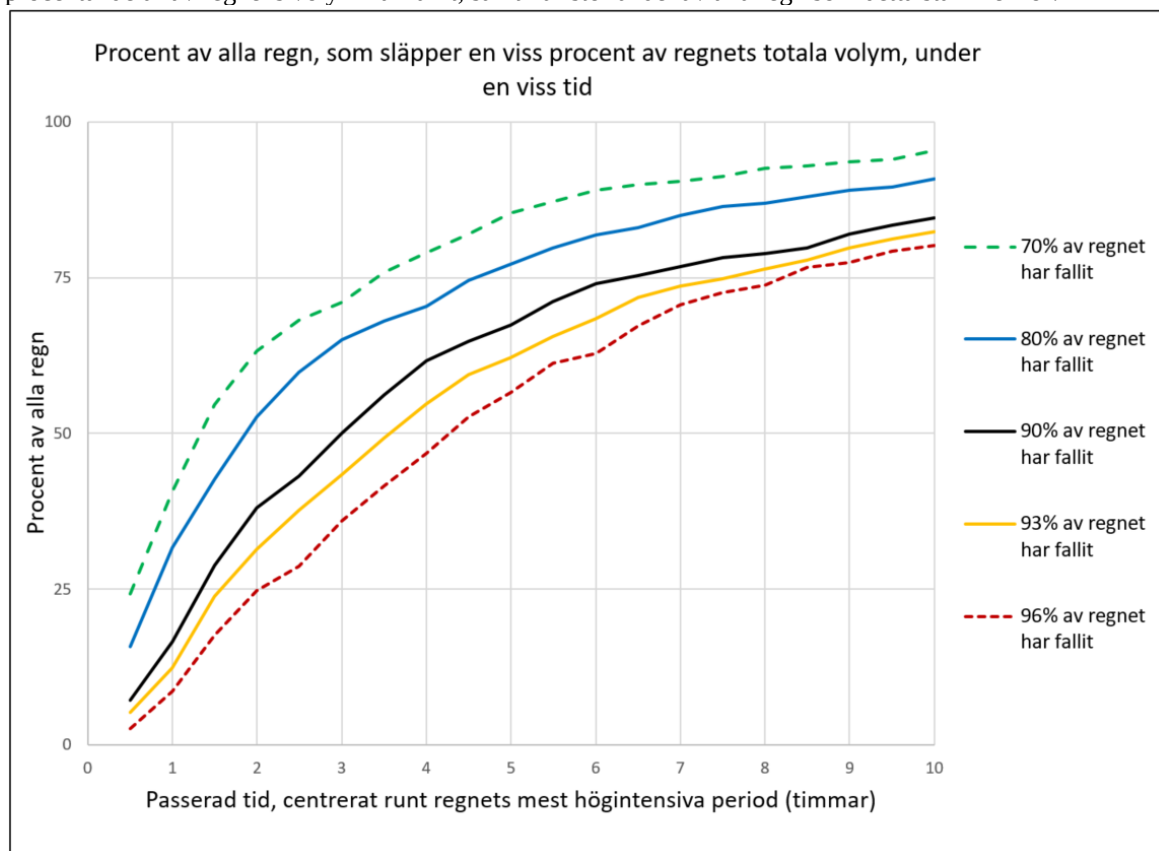
När dessa steg var gjorda så plottades tidsserierna för samtliga händelser i en och samma bild. X-axeln är begränsad till -90 till +90, det vill säga 180 minuter omkring varje händelses högsta minutintensitet, se Figur 11. Syftet med bilden är att visa hur regntoppen ser ut, och hur snabbt intensiteten avtar från regntoppen.



Figur 11 Tidsserier för de största 500 regnen, med centrerad regntopp.

Av figuren kan urskiljas att de flesta händelser avtar relativt snabbt i intensitet, +/- 20 minuter omkring regntoppen, det vill säga inom ett 40-minutersfönster centrerat kring den högsta nederbördsintensiteten.

Ett annat sätt att illustrera regnhändelser på är att undersöka inom hur många minuter omkring maxvärdet som en viss procent av regnets volym faller. Figur 12 nedan visar inom hur många minuter från maxvärdet som olika procentandelar av regnets volym har fallit, samt hur stor andel av alla regn som detta stämmer för.



Figur 12 Statistik över under vilket tidsförlopp som registrerade regn släpper en viss procent av sin totala volym.

I Figur 12 utgår tidsförloppet (x-axeln) från regnets mest högintensiva period. Av figuren kan, som exempel, utläsas att:

63 % av alla regn, släpper 70 % av sin totala volym på totalt 2 timmar

50 % av alla regn släpper 90 % av sin totala volym på 3 timmar
80 % av alla regn, släpper 96 % av sin totala volym på totalt 10 timmar

Denna figur återfinns även som tabell i BILAGA 2. Denna bilaga erbjuder en enklare möjlighet att utläsa mer precis statistik. Denna statistik kan användas för att dra slutsatser om representativa varaktigheter för nederbördshändelser.

3.9 Skevhetsfaktor

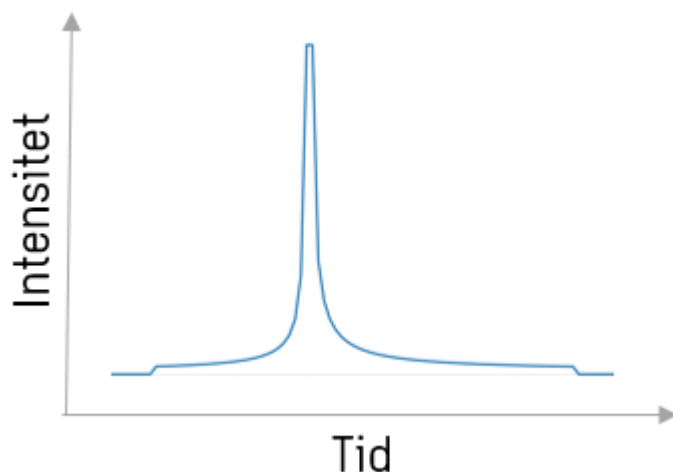
Skevhetsfaktor (eller ofta benämnt skewness factor) är ett mått som beskriver när regntoppen inträffar, mer exakt är det förhållandet mellan tidsperioden för regnets start till regntoppen och regnets totala varaktighet. De flesta regn, baserat på tillgänglig forskning, och som även mätdata i detta projekt uppvisar, har sin regntopp omkring 30% in i händelsen, så skevhetsfaktorn är i storleksordning 0.3 för de flesta regn, se Figur 13 och Figur 14. Vid framtagande av CDS-regn så är skevhetsfaktorn en ingående parameter för att beskriva formen på regnet då det är den andel in i regnet som CDS-regnets topp inträffar. För regnhändelser som det finns data för kan skevhetsfaktor r beräknas från uttrycket

$$r = \frac{V_{före}}{V_{före} + V_{efter}}$$

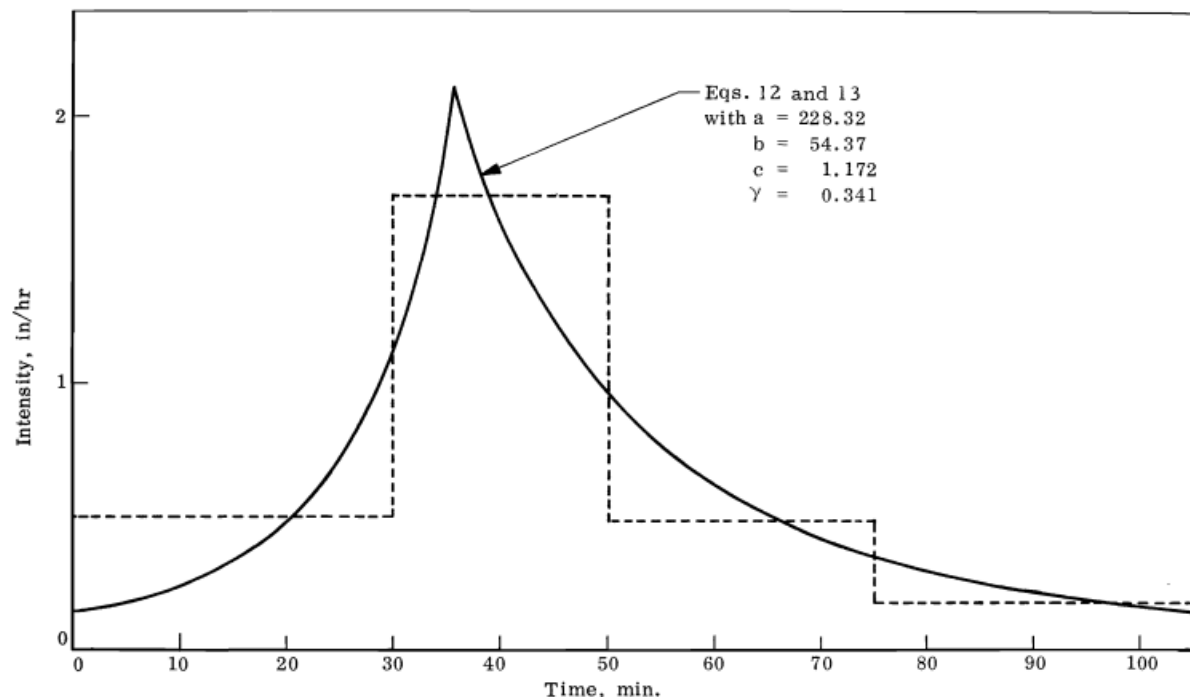
Där

$V_{före}$ = total nederbörd strikt före högsta intensitet

V_{efter} = total nederbörd strikt efter högsta intensitet



Figur 13. Regntoppen placerad något till vänster (skevhetsfaktor = 0,31)



Figur 14. Mer teoretisk representation om skevhetsfaktor från Chen (1975).

Skevhetsfaktor har med ovanstående formel och datamängden för kluster 2 beräknats till 0,31 vilket har använts för framtagandet av CDS-regnet i denna rapport, se Figur 9.

3.10 Matematiska anpassningar

Som ett första steg för att analysera regnhändelserna så behövde samtliga händelser få samma format. Följande beräkningar gjordes på de 500 regnhändelser med högst 6 timmar-volym:

1. Händelsens data interpolerades från vippvärden till minutintensiteter med linjär interpolation.
2. Händelsens centerades så att den högsta minutintensiteten hamnar på $x=30$.
3. Ett 60-minutersfönster omkring regntoppen skars ut för händelsen. För händelser som är kortare än 60 minuter så adderades nollvärden före och efter sista minuttvärdet.
4. Total volym för detta 60-minutfönster normerades till 1, med andra ord är summan av studerade 60 minutintensiteter lika med 1.

När dessa steg var genomförda hade de 500 händelserna samma format: de innehöll nu 60 minutintensitetsvärden, alla med volym 1, och deras regntopp på x-koordinat 30.

3.10.1 MATEMATISKA METODER SOM ÖVERVÄGTS

Analys av stora datamängder kräver alltid en viss efterforskning och tester av olika metodiker innan rätt metodik hittas. I detta projekt, efter testande av ett antal metoder och diskussioner på projektmöten beslutades att rätt metodik för projektet Stockholmsregn var den så kallade klustermetoden.

3.10.2 KLUSTERMETODEN

För att få fram ett antal typregn från dataunderlaget har en klusteranalys utförts. Syftet med denna analys är att kategorisera alla händelser till ett visst antal kluster för att se vad för varianter på regn som kan hittas i data. Den klusteranalys som gjorts i Projektet är k-means-klustring, vilket är en väletablerad och förhållandevis enkel klustringsmetod. I princip används metoden för att hitta kluster av händelser som ligger nära varandra – i detta fall betyder ”ligger nära varandra” att händelserna har liknande minutintensiteter.

När en k-means-klustring genomförs behöver det anges vilket antal kluster som data ska delas in i. I Projektet har ett antal olika kluster undersökts genom att ta fram ett utvärderingsmått på vad som var bäst. I slutändan beslutades att dela in data i 2 kluster. Det som data i praktiken delas in i då är en grupp med händelser som är lite mer ”utsmetade” i tiden, det vill säga där regntoppen mer trubbig, samt en grupp händelser där regntoppen är mer ”toppig” jämfört med minuterna innan och efter, vilket alltså pekar på att händelsen är likt en sommarskur.

4 Resultat

4.1 Blockregnsstatistik

Resultatet av den statistiska analysen för blockregnsintensiteter som beskrivits tidigare finns i Tabell 7 nedan. För varaktigheterna 5–20 minuter har regntillfällen från Geonor-data (SMHI Adelsö A, SMHI Tullinge A samt SLB Högdalen) exkluderats då dessa registrerar mätvärde var 15:e minut, vilket anses vara för låg frekvens för att vara lämpliga att användas för statistik till varaktigheter om 20 minuter eller mindre. Tabell 7 visar en sammanställning av de blockregnsintensiteter och –volymen som beräknats inom Projektet.

Tabell 7. Skattade blockregns-intensiteter (motsvarande volymer i tabell nederst) för nederbördsdata från Stockholm. Återkomsttider 1 – 1000 år, regnvaraktigheter 5 minuter – 24 timmar. Regnvaraktigheterna 5–20 minuter (rödmarkerade tabellvärden) är utvärderade exklusive 15-minuter Geonor-data.

Blockregnsintensiteter (l/s,ha) för blockregnsvaraktighet, minuter												
Återkomsttid, år	5	10	15	20	30	60	90	120	240	360	720	1440
1	142.5	102.4	80.9	67.1	50.2	31.3	24.0	20.0	12.9	9.9	6.0	3.4
2	196.2	142.5	113.1	94.7	71.6	43.6	32.4	26.5	16.4	12.2	7.3	4.3
5	259.6	191.3	152.6	128.5	98.4	59.4	43.5	35.1	20.9	15.3	9.1	5.3
10	308.0	229.5	183.7	155.2	119.9	72.1	52.5	42.1	24.5	17.7	10.6	6.2
20	357.1	268.9	215.8	182.7	142.3	85.5	62.1	49.5	28.2	20.2	12.0	7.0
30	390.9	296.3	238.1	201.9	158.1	95.0	68.9	54.7	30.8	22.0	13.1	7.6
50	437.4	334.3	269.3	228.7	180.3	108.4	78.6	62.1	34.4	24.4	14.5	8.5
100	502.8	388.5	313.7	266.9	212.2	127.8	92.6	72.7	39.6	27.9	16.5	9.6
200	577.7	451.4	365.5	311.5	249.9	150.8	109.3	85.4	45.7	32.0	18.9	11.0
500	683.4	541.6	440.0	375.7	304.7	184.4	133.9	103.9	54.3	37.8	22.3	12.9
1000	776.0	621.6	506.3	433.0	354.1	214.9	156.4	120.7	62.1	43.0	25.3	14.6

Blockregnsvolymen (mm) för blockregnsvaraktighet, minuter												
Återkomsttid, år	5	10	15	20	30	60	90	120	240	360	720	1440
1	4.3	6.1	7.3	8.1	9.0	11.3	12.9	14.4	18.5	21.5	25.9	29.7
2	5.9	8.5	10.2	11.4	12.9	15.7	17.5	19.1	23.6	26.4	31.7	36.8
5	7.8	11.5	13.7	15.4	17.7	21.4	23.5	25.3	30.1	33.0	39.5	46.1
10	9.2	13.8	16.5	18.6	21.6	26.0	28.4	30.3	35.3	38.2	45.6	53.3
20	10.7	16.1	19.4	21.9	25.6	30.8	33.5	35.6	40.6	43.7	52.0	60.7
30	11.7	17.8	21.4	24.2	28.5	34.2	37.2	39.4	44.4	47.5	56.5	65.9
50	13.1	20.1	24.2	27.4	32.4	39.0	42.4	44.7	49.6	52.8	62.7	73.1
100	15.1	23.3	28.2	32.0	38.2	46.0	50.0	52.4	57.0	60.3	71.5	83.2
200	17.3	27.1	32.9	37.4	45.0	54.3	59.0	61.5	65.7	69.1	81.7	95.0
500	20.5	32.5	39.6	45.1	54.8	66.4	72.3	74.8	78.2	81.7	96.4	111.7
1000	23.3	37.3	45.6	52.0	63.7	77.4	84.4	86.9	89.4	92.9	109.4	126.5

Resultatet för blockregn har sedermera använts för att skapa CDS-regn baserat på de förhållanden som råder inom Stockholms stads geografi med omnejd. Även ”kluster-regnen” har fått volym från blockregnsstatistiken.

4.2 Jämförelse av framtagna blockregnsstatistik mot andra datakällor

Inom projektet har blockregnsstatistik för tre datakällor sammanställts och jämförts. Dessa är:

- **"Stockholms-2022"**. Blockregnsstatistik baserat på alla inom Projektet ingående nederbördsdata och beskrivet i föregående kapitel.
- **"SMHI 2017 SÖ"**. Blockregnsstatistik baserat på data från SMHI:s nationella stationsnät, region SÖ (som Stockholm ligger inom). Denna data är konsistent med den data som finns i SMHI:s Klimatologi Nr 47/2017 för denna region (Olsson et.al, 2017).
- **"Dahlström 2010"**. Blockregnsstatistik baserad på Dahlström (2010). Denna statistik motsvarar det som hittills använts som "standard" i Stockholms stad i skyfallsprojekt.

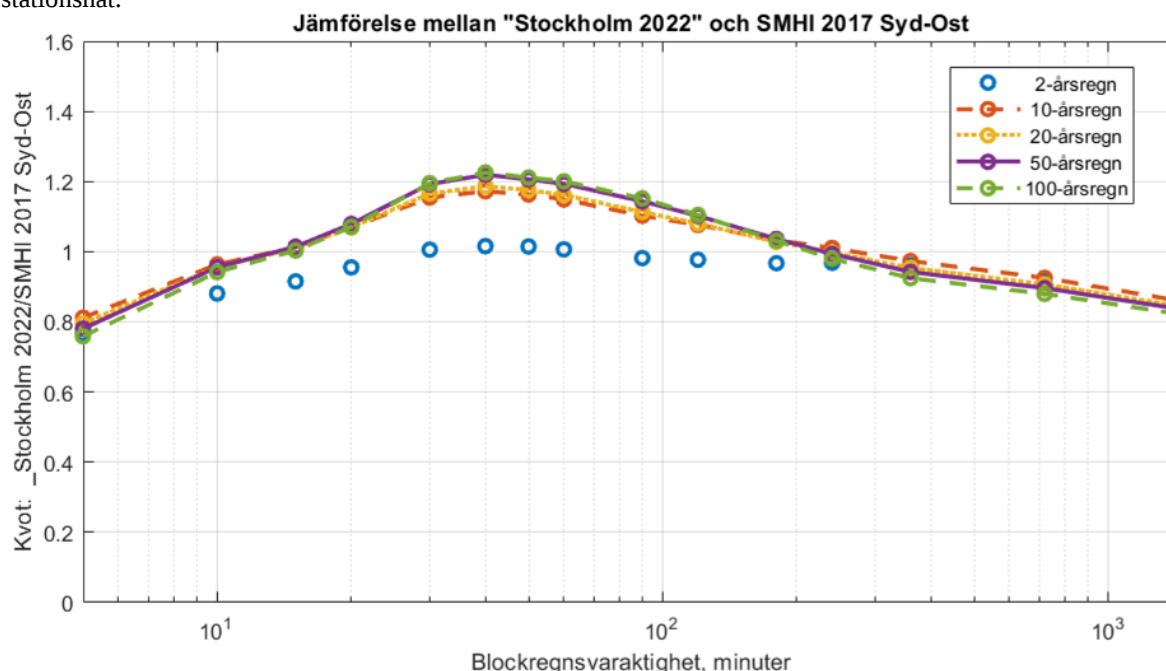
Nedan jämförs statistiken från "Stockholm 2022" med övriga två datakällor.

4.2.1 JÄMFÖRELSE "STOCKHOLM 2022" MED SMHI 2017 SÖ

Olsson *et.al.* (2017) redovisar resultat från bearbetning av högupplösta (15-minuter) data från SMHI:s stationsnät med automatstationer sedan 1996. Resultatet sammanfattades efter klusteranalys i statistik/matematik för fyra regioner inom Sverige. Stockholm hör till region SÖ.

I Figur 15 visualiseras kvoten av total nederbördsvolym mellan "Stockholm 2022" och "SMHI 2017 SÖ" för återkomsttider 1 – 100 år och regnvaraktigheter 5 minuter till 24 timmar. Om värdet på Y-axeln är större än 1 har "Stockholm 2022" högre totalvolym än "SMHI 2017 SÖ" och om värdet är mindre än 1 så har "Stockholm 2022" lägre totalvolym. Det kan ses att kurvorna ligger inom $\pm 20\%$ men att regn med återkomsttid från ca 10 år och uppåt, har en större volym för "Stockholm 2022", vid varaktigheter mellan ca 15 minuter till 4 timmar. Runt 4-6 timmars varaktighet ses dock en god överensstämmelse. Skillnaderna kan bero både på att Stockholms regnklimat skiljer sig något från region SÖ som helhet och att bearbetningsmetoderna av observationer är delvis olika.

Man kan fästa mindre avseende på avvikelser vid kortare varaktigheter (<20 minuter) på grund av den förenklade "justering" som görs där på grund av att dataupplösningen är 15-minutersvärden för SMHI:s stationsnät.



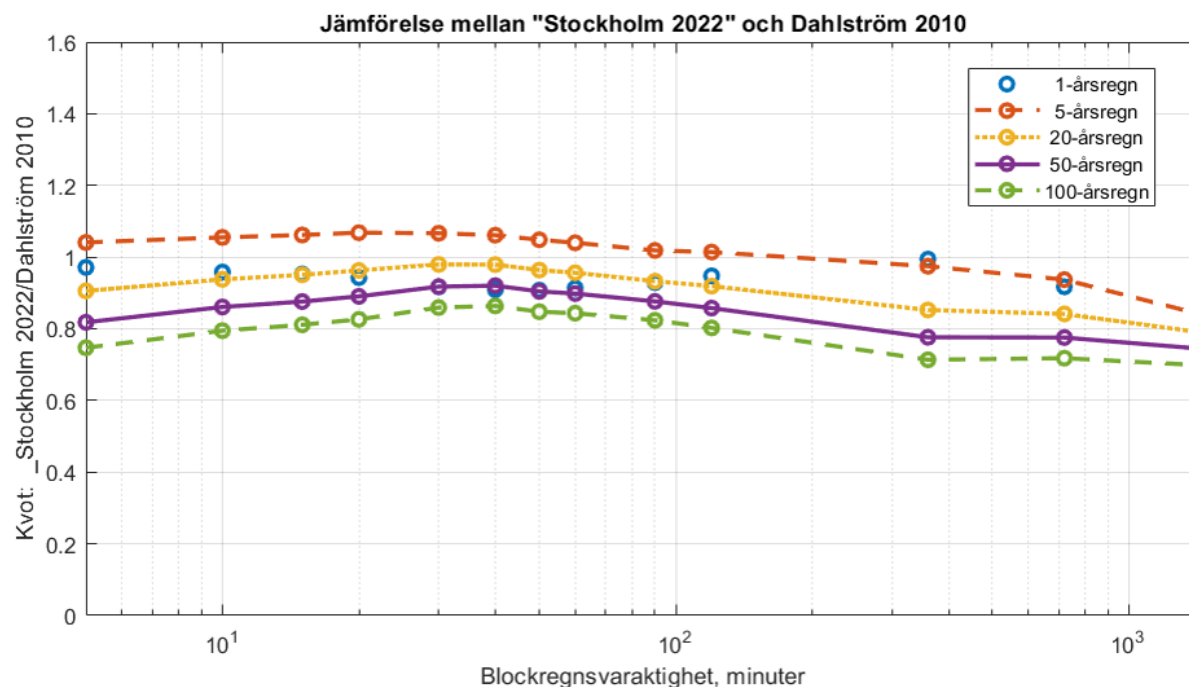
Figur 15. Jämförelse mellan "Stockholm 2022" och "SMHI 2017 Region SÖ".

4.2.2 JÄMFÖRELSE "STOCKHOLM 2022" MED DAHLSTRÖM 2010

Vid jämförelse mellan "Stockholm 2022" och den nationella statistiken ("Dahlström 2010"), som hittills använts inom Stockholms stad, framkommer det att den nationella statistiken tydligt överskattar översvämningsrisken till följd av skyfall inom Stockholms stads geografi, för samtliga varaktigheter. Det är

endast vid återkomsttider omkring 1-20 år som "Dahlström 2010" och "Stockholm 2022" överensstämmer relativt väl. Figur 16 visar kvoten av blockregnsvolymen för återkomsttider 1 – 100 år och regnvaraktigheter 5 minuter till 24 timmar. Om värdet på Y-axeln är större än 1 har "Stockholm 2022" högre totalvolym än "Dahlström 2010", och om värdet är mindre än 1 så har "Stockholm 2022" lägre totalvolym.

Ju högre återkomsttid som är aktuell, desto större överskattning ger "Dahlström 2010". Detta stämmer väl med slutsatser som redovisats av Svensson et. al. (2020): vid långa återkomsttider tenderar "Dahlström 2010" att ge resultat på den "säkra sidan", d.v.s. att volymen överskattas.



Figur 16. Jämförelse mellan "Stockholm 2022" och "Dahlström 2010".

4.2.3 JÄMFÖRELSE MED ANNAN REGNSTATISTIK

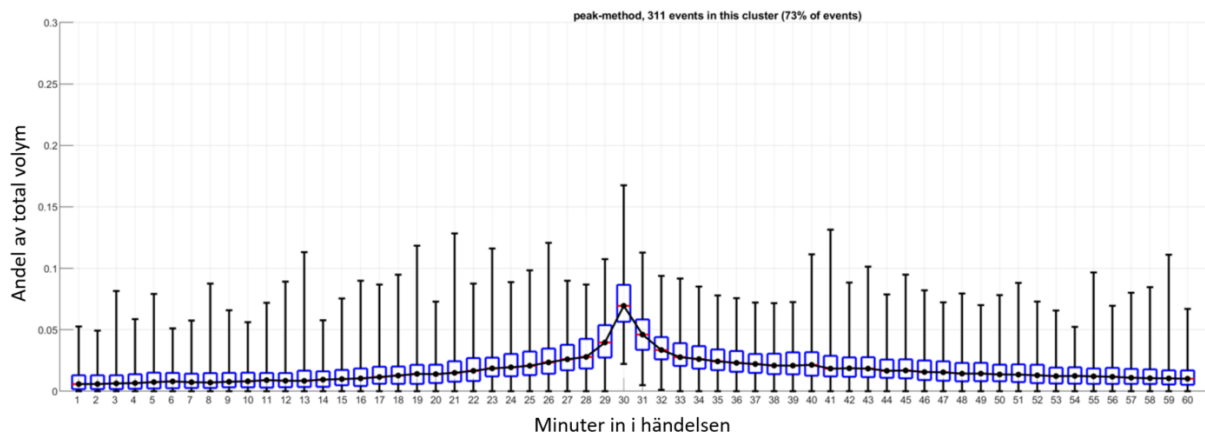
I BILAGA 3 och BILAGA 4 återfinns även jämförelser med två andra statistikunderlag, nämligen de så kallade "Sverigemedel" från 2006 samt "Stockholmskurvorna" från 1951.

4.3 Matematisk anpassning till Kluster 1 och Kluster 2

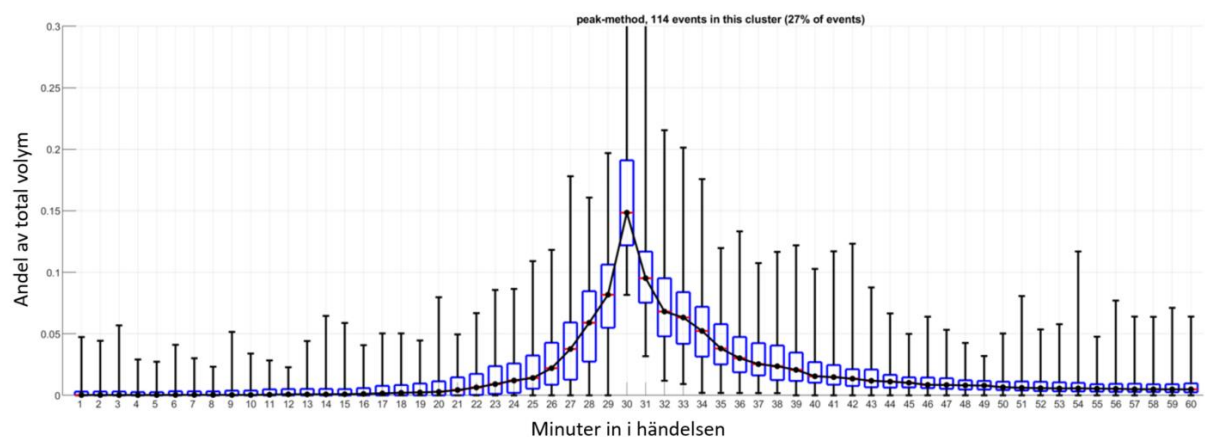
Utifrån den matematiska analysen över hur de 500 mest extrema regnens tids-intensitetsförlopp ser ut, kunde två huvudsakliga så kallade kluster definieras. Dessa två kluster visas i Figur 17 respektive Figur 18.

I vardera figur presenteras regnhändelserna som hamnade i respektive kluster, och data för dessa händelser presenteras i box-whisker-diagram. På x-axeln visas en tidsperiod om 60-minuter, där högsta nederbördsintensiteten är placerad på minut 30, det vill säga i mitten av tidsperioden. På y-axeln visas spridningen av regnhändelserna, utifrån hur stor andel av regnet som "släpps" varje minut.

Den svarta linjen som går genom de blå lådorna är medianen av minutintensiteten för alla händelser som hamnade i aktuellt kluster. Den blå "lådan" är 25- och 75-percentilen av data. Med andra ord så har 50 % av klustrets regnhändelser en minutintensitet inom denna blå låda för respektive minut. De svarta vertikala staplarna som sticker ut är minimum- och maximum-värden från alla regnhändelser inom klustret, och visar alltså den totala spridningen på data.



Figur 17. Kluster 1 representerar ett mer "utsmetat" regn. Klustret representerar 73 % av alla regnhändelser.



Figur 18. Kluster 2 representerar ett "spetsigare" regn med högre regntopp i nederbördsintensitet. Detta kluster representerar 27 % av alla regnhändelser.

Mest intressant och relevant från dessa analyser är mediankurvan, som visar genomsnittligt beteende för alla händelser som hamnade i respektive kluster. Det är även denna mediankurva som sedermera har använts för att ta fram hyetografer för typregn.

4.4 Framtagna hyetografer

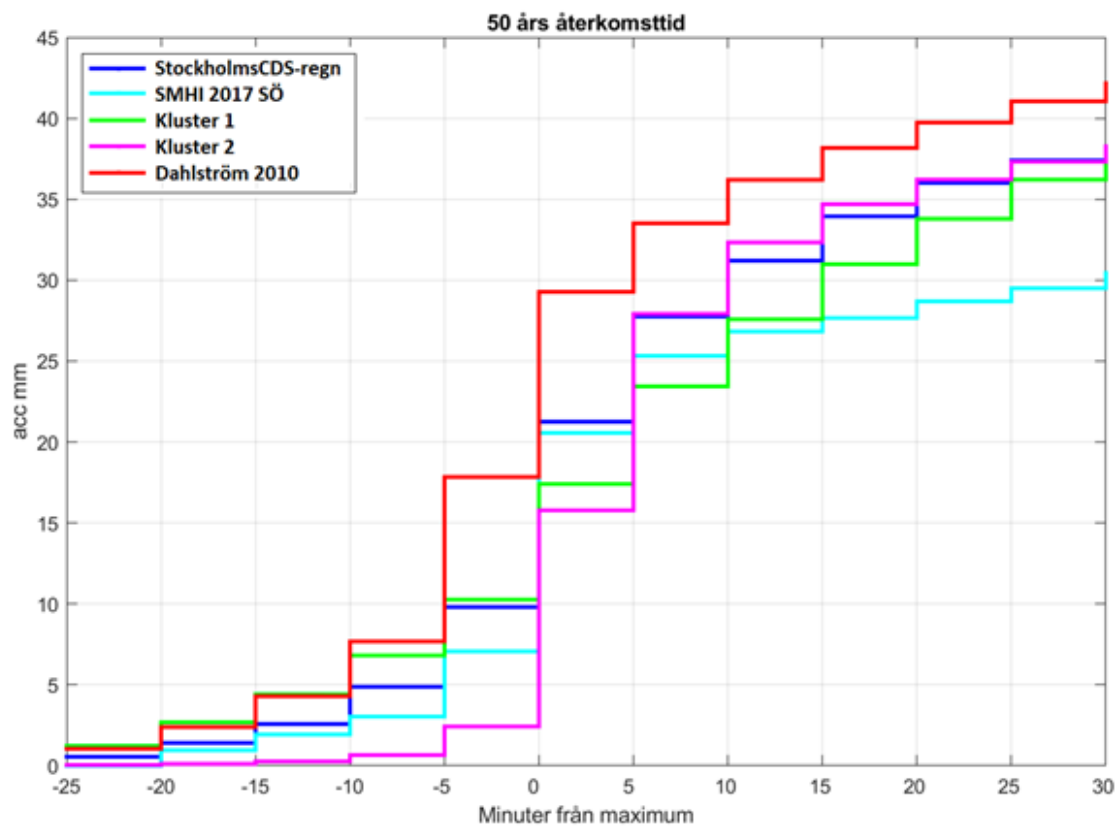
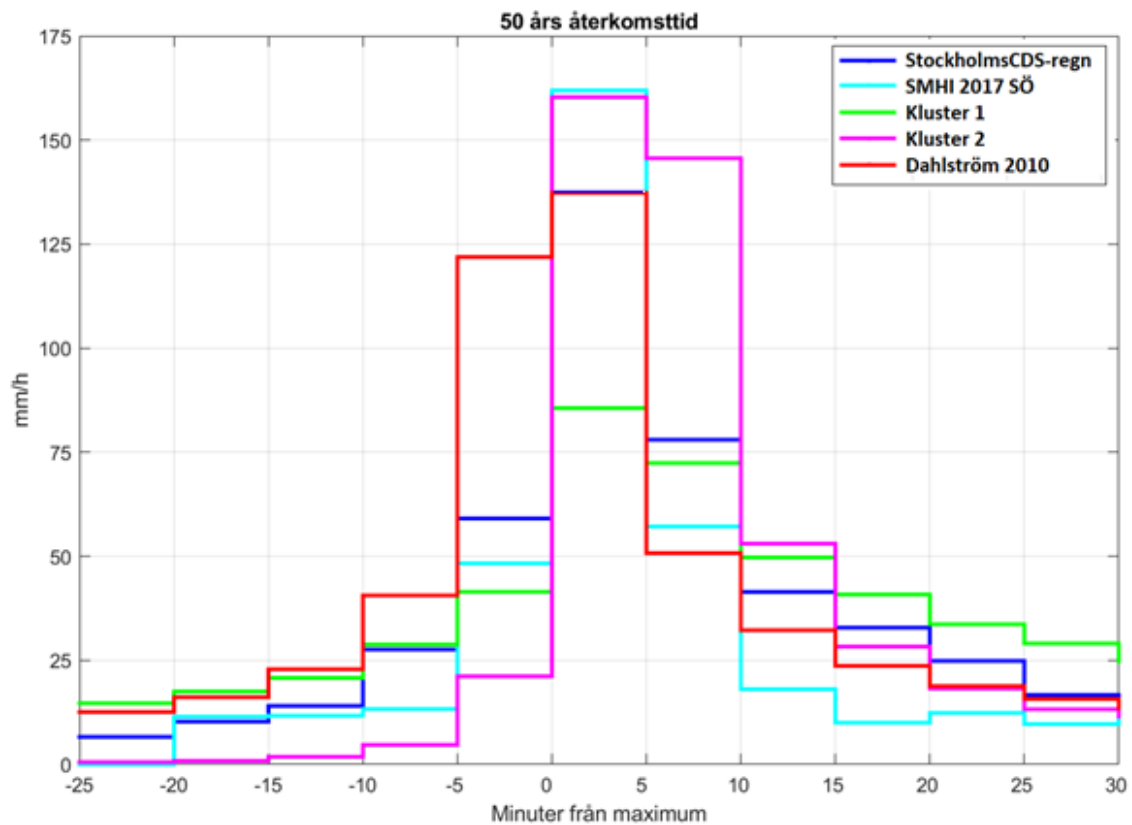
I Figur 19, Figur 20 och Figur 21 visas hyetografer för återkomsttiderna 50, 100 respektive 200 år, inklusive en tillhörande graf som visar den totala ackumulerade nederbördsvolym som fallit för de olika hyetograferna.

I figurerna ingår följande hyetografer:

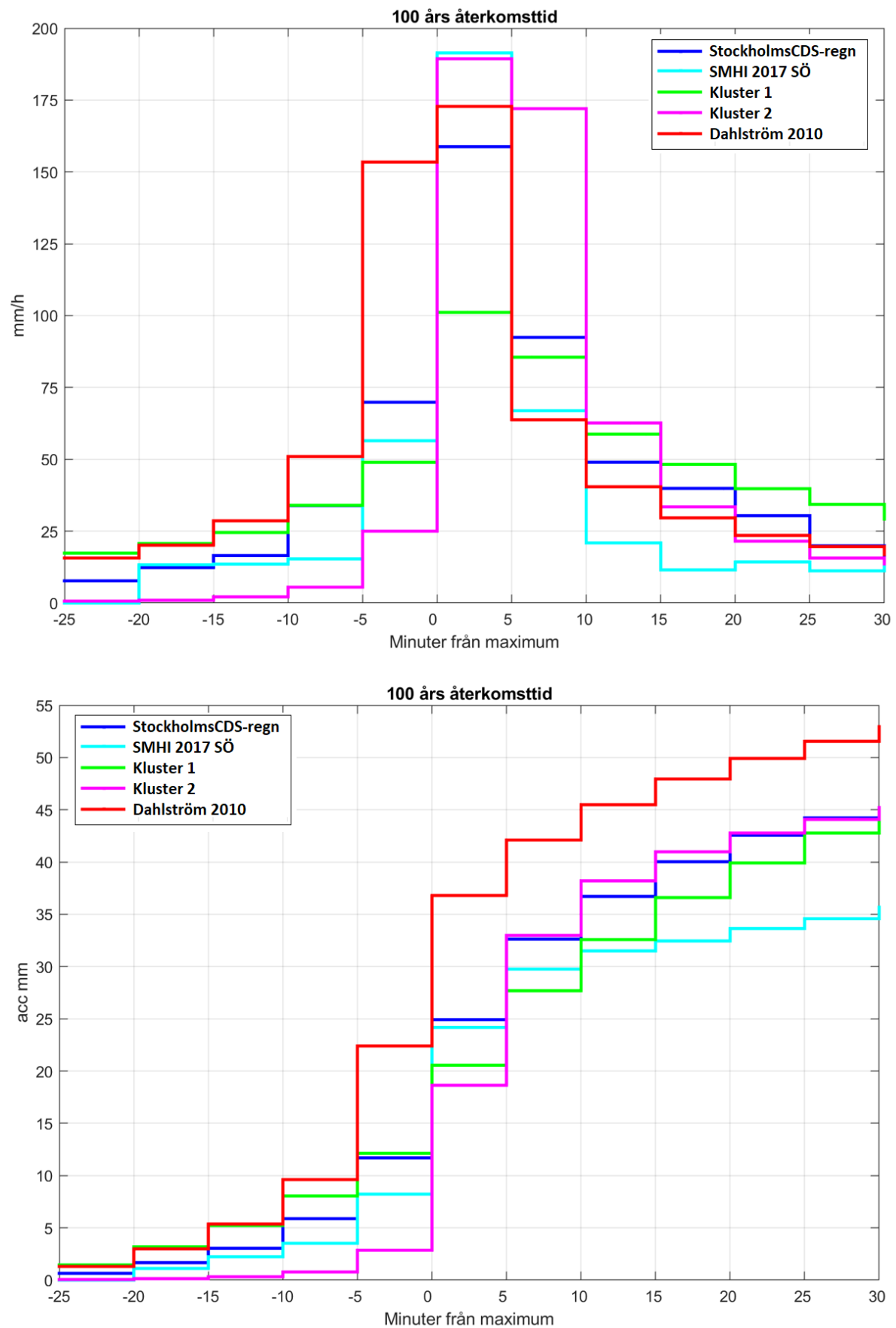
- StockholmsCDS-regn (baserat på blockregnsdata som samlats in inom Projektet)
- Kluster 1 (baserat på matematisk analys av de 500 största regntillfällena som finns insamlade)
- Kluster 2 (baserat på matematisk analys av de 500 största regntillfällena som finns insamlade)
- SMHI 2017 SÖ för varaktighet 60 minuter (CDS-regn framtaget baserat på SMHI:s nationella stationsnät)
- Dahlström 2010 (den nationella statistik som hittills använts inom Stockholms stad)

Det behöver poängteras att figurerna visar ett utsnitt om 60 minuter, där den mest högintensiva delen av respektive hyetograf visas. För att få en uppfattning om hur ackumulerad volym skiljer sig under ett längre tidsförlopp kan Figur 15 och Figur 16 konsulteras.

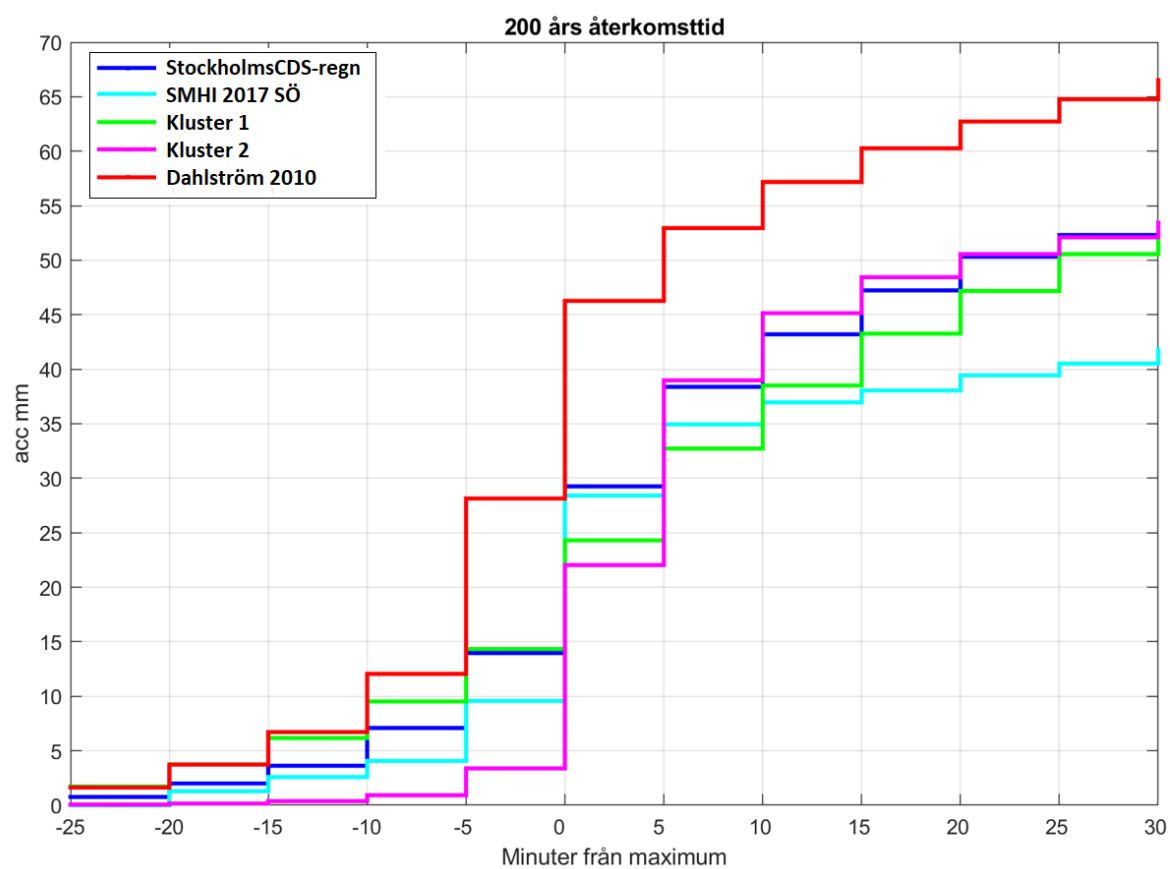
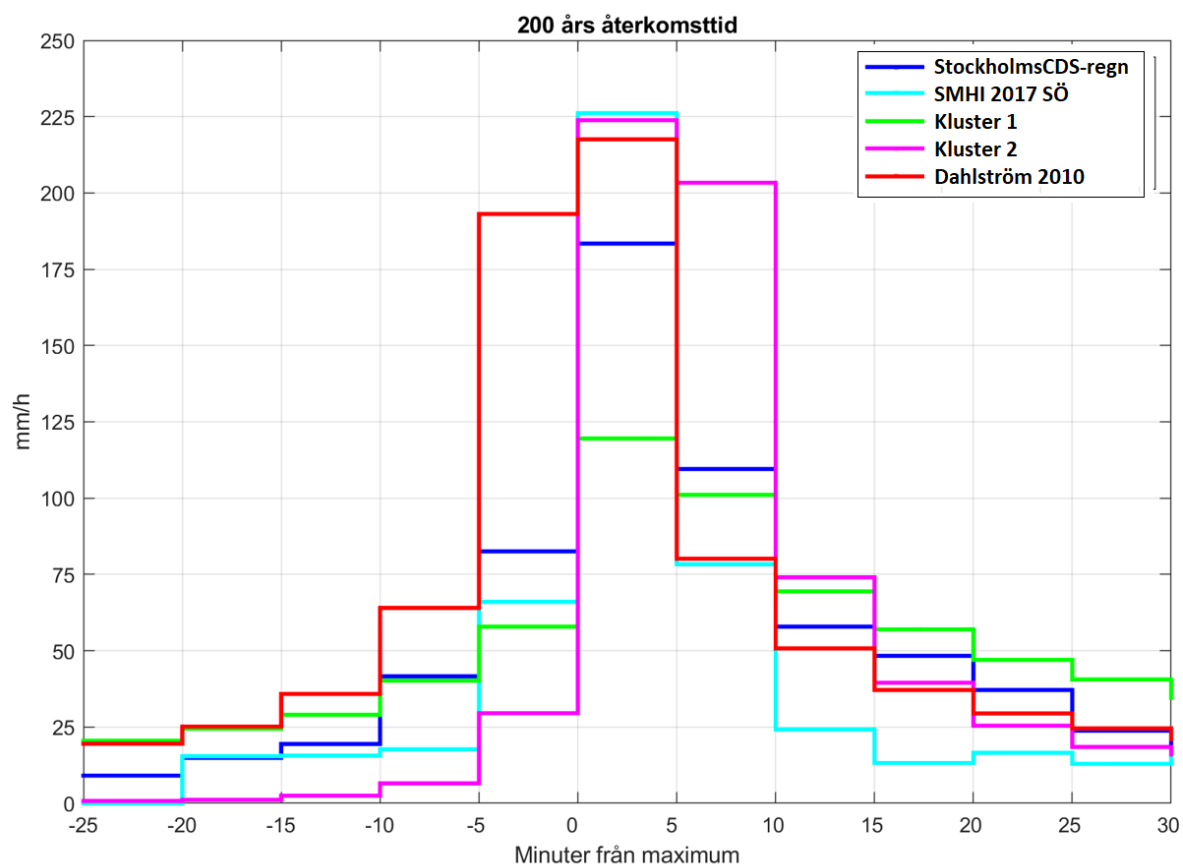
Som tidigare redovisats i Figur 15 **Fel! Hittar inte referenskälla.** och Figur 16, kan det i Figur 19, Figur 20 och Figur 21 tydligt ses att differensen mellan ackumulerad volym från "Stockholms-CDS", "Kluster 1" och "Kluster 2" relativt den nationella statistiken ("Dahlström 2010") ökar ju högre återkomsttid som jämförs.



Figur 19. Hyetografer och ackumulerad nederbördsvolym för återkomsttid 50år. Överst visas nederbördsintensitet över tid. Underst visas total ackumulerad volym per hyetograf.



Figur 20. Hyetografer och ackumulerad nederbördsvolym för återkomsttid 100 år. Överst visas nederbördsintensitet över tid. Underst visas total ackumulerad volym per hyetograf.

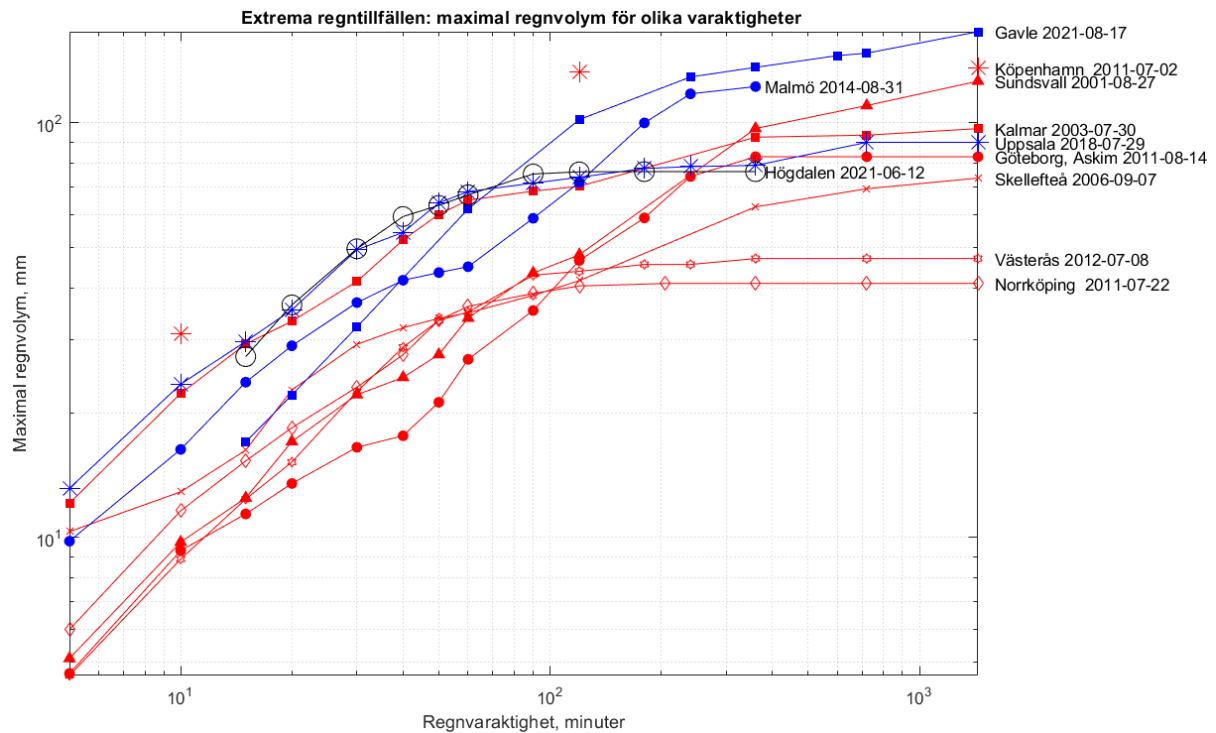


Figur 21. Hyetografer och ackumulerad nederbördsvolym för återkomsttid 200 år. Överst visas nederbördsintensitet över tid. Underst visas total ackumulerad volym per hyetograf.

Inom den statistiska analys som gjorts inom Projektet har även den enskilt största återkomsttiden för en regnhändelse kunnat identifieras.

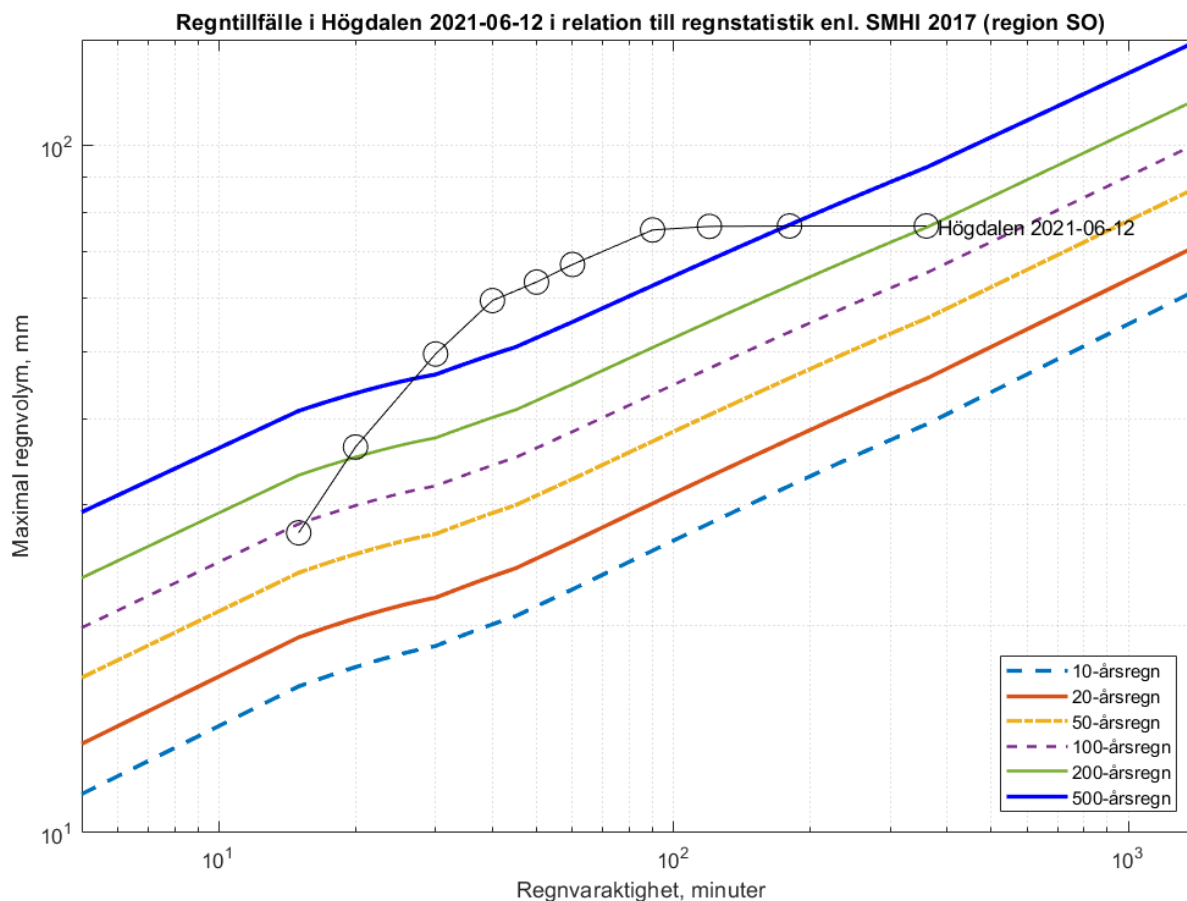
4.5 Det värsta uppmätta regnet i Stockholm

Det mest intensiva regnet i olika avseenden i här aktuella data registrerades i SLB:s Geonor-station Högdalen. Under 2 timmar 2021-06-12 föll totalt 76 mm, huvuddelen (59 mm) inom 45 minuter. I Figur 22 har maximal regnvolym för olika varaktigheter markerats i relation till andra kända skyfallsförlopp. I Figur 23 relateras förloppet i Högdalen till regnstatistik enligt SMHI 2017 – region SÖ.



Figur 22. Några kända extrema regntillfällen i relation till skyfallet registrerat av SLB i Högdalen 2021-06-12 (markerat med ofyllda cirklar).

Att aktuellt regntillfälle var extremt, råder det ingen tvekan om. I jämförelse med SMHI-statistiken enligt Figur 23 blir återkomsttiden för varaktigheter omkring 60 minuter mer än 500 år. Detta antyds också av plotningen i Figur 8 och Figur 10 där den aktuella 60-minutersintensiteten – det största kryset/intensiteten - avsatts i plot-positionen nära 350 år, medan den statistiska anpassningen antyder att det borde vara ett större tal.

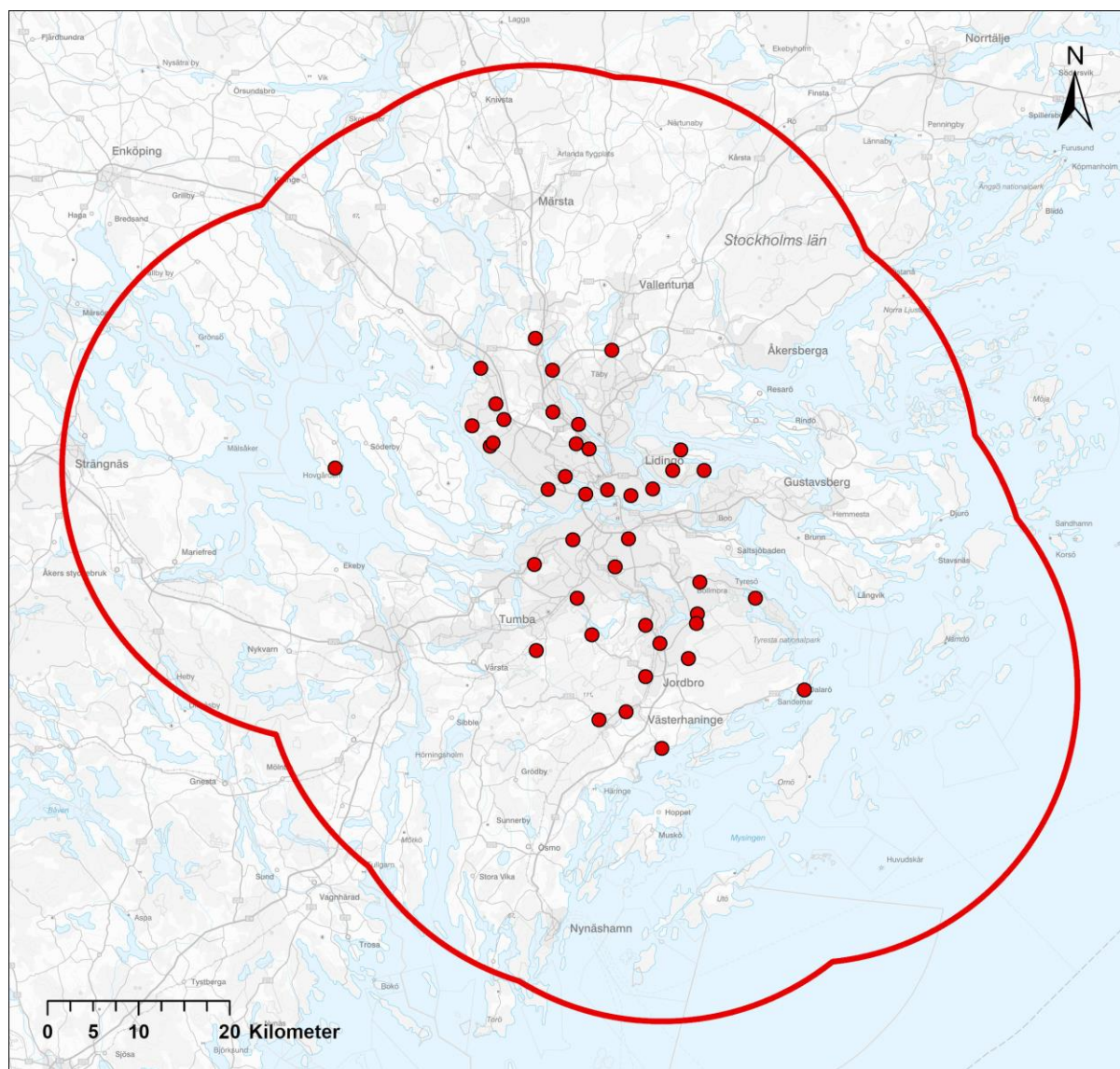


Figur 23. Skyfallet registrerat av SLB i Högdalen 2021-06-12 i relation till regnstatistik enligt SMHI 2017 – region SÖ.

4.6 Geografisk utbredning

Nederbördsdata som används i Projektet är baserat på de lokala förutsättningar som råder inom Stockholmsområdet, med omnejd. För kartläggning av skyfallsrisker inom Stockholms stads geografi bedöms denna data vara mer korrekt och tillförlitlig än mer generaliserad nationell data, så som ”SMHI 2017 SÖ” (eller ”Dahlström 2010”).

”Stockholmsregnet” och dess regnkurvor bedöms representativ för ett geografiskt område som definieras av en radie om 30 km från de mätstationer som ligger till grund för statistiken. Bedömningen om 30 km radie är inte vetenskapligt eller statistiskt analyserad, utan en generell ansats rörande inom vilket område som Resultatet från Projektet ”som minst” kan appliceras. Den bedömda geografiska avgränsningen visas i Figur 24.



Figur 24. Geografisk lokalisering för nederbördsstationer samt rekommenderat område för användning av "Stockholmsregn".

Observera att Figur 24 visar den geografiska lokaliseringen av de nederbördsstationer där koordinatuppgifter fanns tillgängliga, se röda punkter. Dessa behöver inte nödvändigtvis sammanfalla helt med Tabell 4. Figuren visar även det område, röd linje, (30km radie från mätstationerna) inom vilket framtagna typregn kan appliceras.

4.7 Levererad data

De 500 största regnen vilka har kvalitetsgranskats och paketerats överlämnas till SMHI:s arkiv för framtida eventuell fortsättning/ utökning av mätserien inom "Stockholmsregn" och eventuell forskning på nederbördsdata.

All insamlad nederbördsdata som kvalitetsgranskats och bearbetats har inte lämnats till SMHI. Detta då Stockholms stad inte äger alla dessa data. Det uppmanas att de kommuner som äger data, vid en eventuell förfrågan, delar denna med SMHI för forskningssyfte.

4.8 Framtida uppdateringar av statistiken

Resultatet som tagits fram inom Projektet kan i framtiden förbättras genom att nederbördsdata kontinuerligt adderas till analysen. Detta medför att Resultatet kan uppdateras med jämna mellanrum, förslagsvis vart 5-10:e år.

4.9 Klimatfaktor

Inom Projektet har diskussioner om senaste forskningen inom området genomförts och sammanställts översiktligt, baserat på MSB (2023), inom vilken SMHI som expertmyndighet delgett MSB information.

Under 2023 kom ett förtydligande i samband med att MSB gav ut publikationen *Metod för skyfallskartering av tätorter: vägledning* (MSB 2023). I denna vägledning rekommenderar MSB att man generellt bör utgå från RCP 8,5 i fysisk planering, samt att rekommenderad tidshorisont i de flesta tillämpningar är 50 till 100 år (se kapitel 2.4 i MSB (2023)). Samtidigt rekommenderar MSB i kapitel 2.4.2 att de flesta tillämpningar bör ha en planeringshorisont om minst 100 år. I tabell 5 i MSB (2023) fås med dessa rekommendationer en klimatfaktor motsvarande 1,40, eller möjligen högre, eftersom denna klimatfaktor gäller för perioden 2071-2100, vilket är en tidshorisont 47-76 år om man utgår från år 2024.

En klimatfaktor för skyfall inom Stockholms stad kommer appliceras enligt samma metodik som hittills gjorts inom staden, det vill säga klimatfaktorn multipliceras till samtliga intensitetsvärden för de hyetografer som används. Detta betyder att "hela regnkurvan" multipliceras med den klimatfaktor som är aktuell.

4.10 Leverans

Leveransen i projektet består av färdigbearbetad statistisk data. Ett stort antal hyetografer och blockregnsvolymerna har levererats. Tabell 8 redogör för det huvudsakliga material som ingår i leveransen.

Tabell 8. Delar som ingår i leveransen.

ID	Leverans-del	Beskrivning
Blockregn och hyetografer		
1	Blockregn	Återkomsttider; 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 500, 1000 år Varaktigheter; 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 720, 1440 min Totalt antal kombinationer varaktighet/återkomsttid: 150 st.
2	Hyetograf StockholmsCDS-regn	Återkomsttid 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 500 år Varaktigheter; 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 18, 21, 24 timmar Totalt antal kombinationer varaktighet/återkomsttid: 112 st.
3	Hyetograf Kluster 1	Återkomsttid 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 500 år Varaktigheter; 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 18, 21, 24 timmar Totalt antal kombinationer varaktighet/återkomsttid: 112 st.
4	Hyetograf Kluster 2	Återkomsttid 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 500 år Varaktigheter; 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 18, 21, 24 timmar Totalt antal kombinationer varaktighet/återkomsttid: 112 st.
Övrigt statistiskt analysmaterial		
5	Skevhetsfaktor/ Skewness factor	När i regnförloppet som regntoppen inträffar
6	Varaktigheter och regnfördelning	Hur stor andel av alla regn som släpper en viss andel volym inom olika tidsspann sett från tiden då regntoppen inträffar
7	Geografisk utbredning	Hur många nederbördsstationer som registrerar samma extrema regnhändelse

5 Diskussion

Resultatet från projektet Stockholmsregn har lett till betydande kunskapshöjning om hur kraftiga regn och skyfall ser ut inom Stockholms stads geografi med omnejd. Starka statistiska samband har kunnat härledas för aspekter såsom kraftiga regns varaktighet, vilka tid-intensitetsförlopp som är styrande, hur den geografiska utbredningen för extrema regn sett ut historiskt, med mera.

Stockholms stad har goda förutsättningar för att nyttja Projektets Resultat. Till skillnad från den nationella statistik (Dahlströms 2010) som använts historiskt, som är framtagen för återkomsttider upp till tio år, kan "Stockholmsregn" användas för upp till minst 100 års återkomsttid med relativt god tillförlitlighet.

5.1 Osäkerheter

Resultatet som tagits fram har ett statistiskt konfidensintervall. Ju högre återkomsttid på en regnhändelse desto större spridning får konfidensintervallet. För ett regn med 100 års återkomsttid och 60 minuters varaktighet är konfidensintervallet t.ex. $\pm 8\%$ (se Figur 7 och Tabell 3).

Även om konfidensintervallet expanderar ju högre återkomsttid som används, utgör Resultatet idag det mest detaljerade underlag som finns tillgängligt, rörande dimensioneringsförutsättningar för extrema regn och skyfall inom Stockholms stads geografi med omnejd. Om en högre återkomsttid ska utredas bör Resultatet således fortsatt vara ett bättre planeringsunderlag än den nationella statistiken (Dahlströms 2010).

Andra betydande osäkerheter som i Projektet diskuterats är främst följande:

- Val av uppehållstid i regndefinition påverkar antal nederbördshändelser som definieras. Olika val av denna uppehållstid bedöms dock inte på något avgörande sätt påverka statistiken i Resultatet (se kapitel 3.2).
- Det är komplext att bedöma om mätningar inkluderar stationer som är "beroende" av varandra. Om mätningar som i verkligheten är "beroende" inkluderats i analysmaterialet i Projektet medför detta dock att Resultatet hamnar på "säkra sidan", d.v.s. att en överskattning av nederbörd görs (se kapitel 3.3.1).
- CDS-regn har sannolikt en högre återkomsttid än verkliga händelser. Att använda CDS-regn kan således överskatta skyfallsrisken och vara "på säkra sidan" (se kapitel 3.6).

5.2 Kan Stockholms stad använda Resultatet i verksamheten?

Det bedöms finnas goda skäl för Stockholms stad att använda det resultat som levererats (se Tabell 8). Detta eftersom resultatet:

- Utgör det senaste kunskapsunderlaget inom området.
- Är baserat på en stor mängd kvalitetsgranskad och bearbetad data från en geografiskt avgränsad region.
- Är baserat på de lokala förhållanden som råder inom Stockholms stads geografi med omnejd
- Har väsentligt bättre statistiskt dataunderlag än den nationella metod (Dahlströms 2010) som hittills använts inom Stockholms stad.

6 Slutsatser och rekommendationer

*Kapitel "6. Slutsatser" är i sin helhet sammanställt av trafikkontorets skyfallsfunktion, som är en stadsövergripande funktion inom Stockholms stad. Inom kapitlet redogörs för skyfallsfunktionens tolkning av Resultatet från Projektet och hur det lämpligen appliceras inom Stockholms stad. Ett flertal organisationer inom staden har fått lämna synpunkter innan föreliggande rapport slutställdes. **Samtliga slutsatser och rekommendationer som ges i detta kapitel gäller för extrema regn och skyfall med en återkomsttid om minst 50 år.***

Projektets Resultat har medfört en omfattande kunskapshöjning av hur extrema regn är beskaffade, inom Stockholms stads geografi med omnejd. Tillförlitligheten till Resultatet anses mycket god då det är framtaget av nationell spetsexpertis från bland annat SMHI, samt att det statistiska dataunderlaget varit omfattande och av god kvalitet.

Det har i Projektet inte framförts skäl till att Resultatet skulle vara olämpligt att använda i Stockholms stads verksamhet. Istället finns det många goda skäl för att implementera Resultatet, som av konsulterna anses vara mer lämpligt för skyfallsutredningar jämfört med den nationella statistik (Dahlström 2010) som används idag inom Stockholms stad.

Resultatet visar att en lägre skyfallsrisk generellt föreligger i Stockholms stad jämfört med vad den nationella statistiken (Dahlström 2010) säger. Detta till trots att flera konservativa faktorer finns i Resultatet (se föregående kapitel om "Osäkerheter"). Resultatet visar också en god överensstämmelse med SMHI:s regionala statistik (se kapitel 4.2.1). Vidare bedöms att Resultatet är mer korrekt och tillförlitligt än övrig statistik som finns tillgänglig, för skyfallsutredningar inom Stockholms stad (se kapitel 4.6).

Eftersom resultatet visar att Stockholms stad generellt har en lägre skyfallsrisk än vad den nationella statistiken visar, finns även följande fördelar som är av betydande vikt från ett antal av stadens verksamheters perspektiv:

- Planprojekt kan dimensionera skyfallsåtgärder på ett mer tillförlitligt vis. Projekten kommer sannolikt kunna arbeta mer resurseffektivt på grund av att översvämningsrisken till följd av skyfall är lägre, och samtidigt uppfylla de krav som finns i bland annat planprocessen.
- Skyddsåtgärder i befintlig miljö kan utformas enligt mer korrekt information och dessa åtgärder kommer generellt bli mindre till omfattning. Detta borde kunna tolkas till att fler samhällsviktiga funktioner och värden kan skyddas per investerad krona.

6.1 Vad de olika delarna av Resultatet kan användas till

Det Resultat som levererats inom Projektet visas i Tabell 8. I nedan delkapitel beskrivs kort vad de olika delarna i leveransen kan användas till.

6.1.1 BLOCKREGN

Blockregn har definierats för en stor mängd kombinationer (150 kombinationer) av varaktighet och återkomsttid för regnhändelser. Varaktigheten spänner mellan 5 minuter upp till 24 timmar. Återkomsttiden varierar mellan 5 år och 1000 år. Blockregnstatistiken är framtagen baserad på kvalitetsgranskad och bearbetad data från nederbördsstationerna som ingått i Projektet.

Blockregnstatistiken bygger på en sedan mycket länge använd metodik, där en och samma regnintensitet råder under hela regnets varaktighet.

Det är vedertaget att blockregn inte används som huvudsakligt dimensioneringsunderlag vid skyfallsutredningar, eftersom de inte beskriver hur regnets intensitet varierar med tiden samt att varaktigheten måste väljas till en statisk varaktighet. Den framtagna blockregnsstatistiken kan användas för andra applikationer om ett behov finns.

6.1.2 STOCKHOLMS CDS-REGN

StockholmsCDS-regn är en hyetograf som är uppbyggd med så kallad CDS-form, vilket innebär att blockregnsstatistik använts för att definiera regnintensiteten under olika delar av regnförloppet. En styrka med en hyetograf som skapats med CDS-metodik är att den kan sägas representera alla varaktigheter för blockregnsstatistiken (se t.ex. Svenskt Vatten, 2011). CDS-metodiken är även allmänt vedertagen inom både skyfalls- och VA-projekt och används på alla håll i landet. Som underlag till denna hyetograf har blockregnsstatistiken (beskriven i föregående delkapitel) använts.

StockholmsCDS-regnet representerar därför den nederbördsstatistik som råder för Stockholms stads geografi med omnejd och finns framtaget för åtta återkomsttider med totalt 14 varaktigheter, d.v.s. totalt 112 hyetografer. Det finns ett värde i att använda CDS-metodik i skyfallsutredningar då det är standard i skyfallsutredningar idag och alltså är välbekant för både beställare, konsulter och tillsynsmyndigheter.

6.1.3 HYETOGRAPH KLUSTER 1

Hyetografen för Kluster 1 är en av två hyetografer som är rent matematiskt anpassade till den nederbördsstatistik som samlats in inom Projektet. Kluster 1 representerar 73 % av alla nederbördshändelser, av de 500 mest intensiva regnen som finns data för. Det betyder att hyetograf Kluster 1 representerar det mest *sannolika* regnförloppet för en slumpmässig regnhändelse av mer extrem karaktär.

Kluster 1 har den lägsta maximala regnintensiteten (den lägsta "regntoppen") av de tre framtagna hyetograferna (StockholmsCDS, Kluster 1 och Kluster 2). Däremot har Kluster 1 högre regnintensitet under de tidsperioder av regnet som är mer lågintensiva (se kapitel 4 för referens).

Då Kluster 1 har en betydligt lägre maximal regnintensitet (regntopp) är det sannolikt att hyetografen kan ge något lägre översvämningsrisk till följd av skyfall inom mindre avrinningsområden. Detta gäller speciellt inom mindre områden såsom kvarter och gatustrukturer. Detta eftersom mer "spetsiga" högintensiva regn tenderar att medföra högre maximala flöden och således vattendjup längs gator som har mindre avrinningsområden. Därav anses Kluster 1 inte vara mest lämpad för att utgöra vare sig huvudsakligt eller sekundärt dimensioneringsunderlag som standard.

Kluster 1 finns framtaget för åtta återkomsttider med totalt 14 varaktigheter, d.v.s. totalt 112 hyetografer.

6.1.4 HYETOGRAPH KLUSTER 2

Hyetograf för Kluster 2 är den andra av två hyetografer som är rent matematiskt anpassade till den nederbördsstatistik som samlats in inom Projektet. Kluster 2 representerar 27 % av alla nederbördshändelser, av de 500 mest intensiva regnen som finns data för. Av detta kan då sägas att det är mindre sannolikt att ett godtyckligt extremregn eller skyfall har ett tids-intensitetsförlopp som överensstämmer med Kluster 2, jämfört med Kluster 1.

Kluster 2 är den hyetograf som har "spetsigast" tid-intensitetskurva, det vill säga det representerar det regnförlopp som har högst maxintensitet av de hyetografer som levererats inom Projektet. Däremot är Kluster 2 betydligt mindre intensivt än övriga hyetografer "utanför" den mest högintensiva regntoppen.

Eftersom Kluster 2 har högst maxintensitet av alla hyetografer, men inte är lika "vanligt förekommande" som Kluster 1, anses den vara lämplig att använda vid känslighetsanalyser främst.

Kluster 2 finns framtaget för åtta återkomsttider med totalt 14 varaktigheter, d.v.s. totalt 112 hyetografer.

6.1.5 SKEVHETSAKTOR (SKEWNESS FACTOR)

Skevhetsfaktor beskriver hur "snabbt" in i en regnhändelse som regnet blir mest högintensivt. Skevhetsfaktor har ett värde att beakta då denna faktor bland annat påverkar hur dagvattens- och skyfallsmagasin fylls upp innan den mest högintensiva regnperioden inträffar.

Värdet på skevhetsfaktor, som är 0,31 enligt den beräknade statistiken, medför att regnets topp generellt kommer "tidigt" i regnförloppet, då magasin, växtbäddar, lågpunkter med mera inte hunnit fyllas upp av mer lågintensivt regn. I alla fall inte till samma grad som om regntoppen kommit betydligt senare i regnförloppet, och magasin då under en längre tidsperiod redan kunnat ha inflödande vatten som i varierande omfattning redan fyllt upp anläggningen. För att beskriva ett mer *sannolikt* förlopp av extrema regn kan den skevhetsfaktor som beräknats i Projektet användas. Detta då det ger en mer representativ beskrivning av hur extremregn *generellt* beter sig inom Stockholms stads geografi.

Vid dimensionering av magasin eller andra fördröjningsanläggningar måste man dock vara mycket uppmärksam på att dimensioneringen är fullgod även om skevhetsfaktorn antar ett annat värde. Skevhetsfaktorn bör således vara en parameter som man justerar efter behovet och förutsättningarna i det arbete man driver.

6.1.6 VARAKTIGHETER OCH REGNFÖRDELNING

Resultatet över varaktigheter och regnfördelning består av en sammanställning av statistisk analys, som berättar hur stor andel av den totala nederbördsvolymen som släpps inom olika tidsintervaller, sett från regnets maxintensitet.

Resultatet är sammanställt i Figur 12 och visar till exempel att 50 % av alla regn släpper 90 % av sin totala volym på 3 timmar.

Resultatet kan användas som underlag för att göra välgrundade bedömningar för vilken/vilka hyetografer som bör användas, och hur länge varaktigheten på dessa bör vara för att bäst representera det mest *sannolika* regnförloppet. Det kan även användas för att göra högdetaljerade bedömningar där så är motiverat, t.ex. då säkerhetsmarginal och känslighetsanalys analyseras för objekt med särskilt högt skyddsvärde. Statistiken ger värdefull information bl.a. om den *kortaste* varaktighet som är relevant i skyfallsutredningar.

6.1.7 GEOGRAFISK UTBREDNING

De mest extrema regnen som registrerats inom Stockholms län och som ingått i Projektet, visar att den geografiska utbredningen för de mest extrema nederbördsintensiteterna varit relativt begränsad. Inget av de mest extrema regnen har registrerats som synnerligen extrema på mer än tre nederbördsstationer, och oftast har så skett inom endast en nederbördsstation.

Detta betyder dock inte att det inte kan råda mycket kraftig nederbörd inom ett mycket stort geografiskt område samtidigt, utan endast att den mest extrema intensiteten registrerats på endast ett fåtal stationer. Det finns välkända regntillfällen ifrån flera kommuner i Sverige där skyfallsregn varit mycket omfattande i geografisk utbredning, t.ex. Malmö 2014 och Gävle 2021.

Projektet har inte kunnat dra definitiva slutsatser om den geografiska utbredningen av skyfall bör begränsas i skyfallsprojekt.

Resultatet om geografisk utbredning kan dock användas för att göra högdetaljerade bedömningar där så är motiverat, t.ex. då säkerhetsmarginal och känslighetsanalys analyseras för objekt med särskilt högt skyddsvärde. Det kan även utgöra beslutsunderlag för att prioritera mellan åtgärdsområden att utreda eller åtgärda, beroende på avrinningsområdenas storlek som leder till dessa åtgärdsområden.

6.2 Hur bör Resultatet appliceras?

Resultatet från Projektet visar att det finns två helt dominerande hyetografer som extrema regn följer inom Stockholms stads geografi, där kluster 2 utgör den mest högintensiva hyetografen och kluster 1 är mer ”utsmetat”. Det är högst sannolikt så att båda hyetograferna kan medföra störst skyfallsrisk inom olika områden, och det går därför inte att ge en rekommendation för vilken hyetograf som alltid är den mest representativa att använda.

Det är skyfallsfunktionens rekommendation att staden generellt använder en och samma hyetograf för utredningar, förutom i de fall särskilda skäl föreligger att genom känslighetsanalys använda flera hyetografer.

Eftersom Kluster 2 endast motsvarar ungefär vart fjärde extremregnstillfälle kan det argumenteras att återkomsttiden för översvämningsutbredningen i samband med skyfall inte helt linjärt följer återkomsttiden för nederbördshändelsen. Nedan ges ett beskrivande exempel för detta resonemang:

Om det inom ett område under en 40-årsperiod faller fyra stycken 10-årsregn med 25 mm nederbörd, så bör det statistiskt vara så att endast ett av dessa tillfällen har hyetograf enligt Kluster 2, medan tre av tillfällena har hyetograf enligt kluster 1. Om regnet med hyetograf enligt kluster 2 medför att större översvämning skapas jämfört med kluster 1, kan *den översvämningen* inte sägas representera en 10-årsöversvämning, utan istället en översvämning med *högre återkomsttid*. Detta eftersom det är fyra regnhändelser med vardera 25 mm volym, där ett av dessa tillfällen ger större översvämning än de andra tre.

Hyetografen för StockholmsCDS-regn är en ”blandning” av kluster 1 och kluster 2, som bygger på all den faktiska blockregnsstatistik som tagits fram inom Projektet. Blockregnsstatistiken i sin tur är baserat till 100 % på de data som samlats in. CDS-metodiken är välkänd och används inom hela Sverige idag. Det anses därför finnas flertalet fördelar med att använda StockholmsCDS-regn som ”standard” i skyfallsutredningar och extremregnsanalyser inom Stockholms stad.

Samtidigt som nya hyetografer implementeras i skyfallsutredningar, bör den klimatfaktor som ska användas i relevanta projekt också uppdateras. Detta för att inte förändra dimensioneringsförutsättningar för frekvent och att det är lämpligt att arbeta efter det nu rådande kunskapsläget. Stockholms stad har tidigare följt de rekommendationer som myndigheter har rörande frågan, och dessa har utkommit med nya rekommendationer under senaste tid (se t.ex. MSB 2023).

Vilken klimatfaktor som bör använda är en fråga som idag är aktuell, då bland annat MSB (2023) utkommit med ny vägledning för skyfallskarteringar. I denna vägledning rekommenderar MSB att man generellt bör utgå från RCP 8,5 i fysisk planering, samt att rekommenderad tidshorisont i de flesta tillämpningar är 50 till 100 år (se kapitel 2.4 i MSB (2023)). Samtidigt rekommenderar MSB i kapitel 2.4.2 att de flesta tillämpningar bör ha en planeringshorisont om minst 100 år. I tabell 5 i MSB (2023) fås med dessa rekommendationer en klimatfaktor motsvarande 1,40, eller möjligen högre, eftersom denna klimatfaktor gäller för perioden 2071-2100, vilket är en tidshorisont 47-76 år om man utgår från år 2024. Detta kan jämföras med den klimatfaktor som Stockholms stad använder idag, som är 1,25.

Kunskapsläget om hur ett framtida klimat påverkar extrem nederbörd är betydligt bättre idag än då Stockholms stad tidigare beslutade om vilken klimatfaktor som staden skall använda. Stockholms stad utgick tidigare till betydande del från den rekommendation som gavs av branschorganisationen för Sveriges VA-huvudmän, Svenskt Vatten. Staden beslutade om vilken faktor man ville använda utan en djuplodande ”process” och analys. Av bl.a. ovan anledningar bedöms det finnas goda skäl att uppdatera klimatfaktor i skyfallsutredningar.

6.3 Nya rekommenderade förutsättningar för skyfallsutredningar

Följande rekommendationer gäller enbart för extrema regn och skyfall med **återkomsttid om 50 år eller mer**.

Baserat på Projektets Resultat rekommenderas att Stockholms stad implementerar Resultatet som dimensioneringsförutsättning i skyfallsutredningar. Samtidigt är rekommendationen att Stockholms stad uppdaterar den klimatfaktor som används som standard i fysisk planering och arbete med skyfallsutredningar.

Det rekommenderas att följande dimensioneringsunderlag, sammanställt i Tabell 9, används för extrema regn och skyfall med **återkomsttid om 50 år eller mer** som standard inom Stockholms stad:

Tabell 9. Nya rekommenderade dimensioneringsförutsättningar för Stockholms stad, för extrema regn med återkomsttid om 50 år eller mer.

Rek. nr.	Rekommendation (gäller endast regn med återkomsttid 50 år eller mer)
1	En klimatfaktor om 1,4 används som standard.
2	StockholmsCDS-regn används som hyetograf.
3	Varaktigheten för skyfalls-hyetografer ska alltid vara som <i>minst</i> sex (6) timmar, oavsett hur litet avrinningsområdets storlek är. Inom större avrinningsområden bör längre varaktighet användas om så anses lämpligt.
4	Hela avrinningsområdet ska belastas med samma hyetograf.
5	Hyetograferna bör utformas med en skevhetsfaktor om 0,31 vilket motsvarar den faktor som statistiskt bäst beskriver extrema regn inom Stockholms stads geografi.
6	Vid behov av känslighetsanalys med annan hyetograf bör Kluster 2 först och främst användas. Kluster 1 kan användas som tredje hyetograf i känslighetsanalys. Känslighetsanalys ska genomföras för att utreda behov av <i>förstärkt</i> skydd, inte för att hitta motiv för <i>reducerat</i> skydd.
7	Det är alltid lämpligt, men inte ett krav, att genomföra känslighetsanalys med Kluster 2 då skyddsåtgärder planeras för platser eller objekt med särskilt högt skyddsvärde.
8	Blockregnsstatistik kan användas i de applikationer som anses lämpliga men ska inte utgöra huvudsakligt dimensioneringsunderlag i skyfallsutredningar.
9	Projekt som redan pågår och har anpassningar för att hantera skyfallsrisk, där tidigare dimensioneringskrav använts, kan välja huruvida man vill uppdatera utformning av projektet med de nya rekommendationerna eller ej.

Det rekommenderas även att Resultatet uppdateras med en viss frekvens, för att ytterligare höja kvaliteten i dimensioneringsunderlaget. Det bedöms lämpligt att var 5:e till 10:e år uppdatera "Stockholmsregn" med nytillkomna nederbördsmätningar.

6.4 Påverkan på stadens verksamhet från de nya rekommendationerna

En jämförelse har genomförts för att visa hur införandet av de nya rekommendationerna påverkar den totala nederbördsmängden vid olika återkomsttider och varaktigheter. I jämförelsen har blockregnsstatistiken för "Stockholm 2022" multiplicerats med en klimatfaktor om 1,4, och jämförts med blockregnsstatistiken för "Dahlströms 2010" med en klimatfaktor om 1,25. Detta motsvarar en jämförelse mellan de nya rekommendationerna och de idag gällande dimensioneringsförutsättningarna.

Resultatet illustreras i Figur 25 för varaktigheter upp till 6 timmar. I Figur 26 visas varaktigheter mellan 5 och 60 min på ett mer detaljerat sätt. Jämförelsen är gjord på följande vis:

$$\text{Procentuell skillnad} = \frac{(\text{Stockholm 2022 kf 1,4}) - (\text{Dahlström kf 1,25})}{(\text{Dahlström kf 1,25})}$$

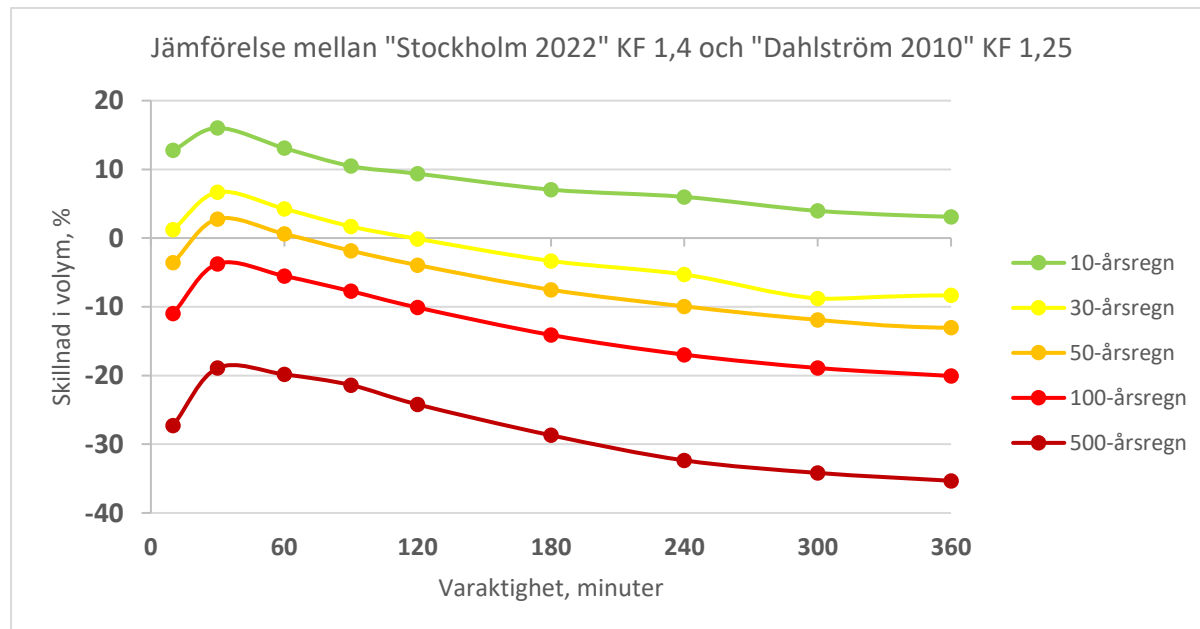
där

Stockholm 2022 kf 1,4 = Volym för "Stockholmsregn" med klimatfaktor 1,4

Dahlström kf 1,25 = Volym för "Dahlström 2010" med klimatfaktor 1,25

Ett negativt procentuellt värde på y-axeln betyder att "Stockholm 2022" med klimatfaktor 1,4 har en lägre nederbördsvolym än "Dahlström 2010" med klimatfaktor 1,25. Det kan tydligt ses att den procentuella skillnaden mellan regnvolymerna ökar ju högre återkomsttid som jämförs.

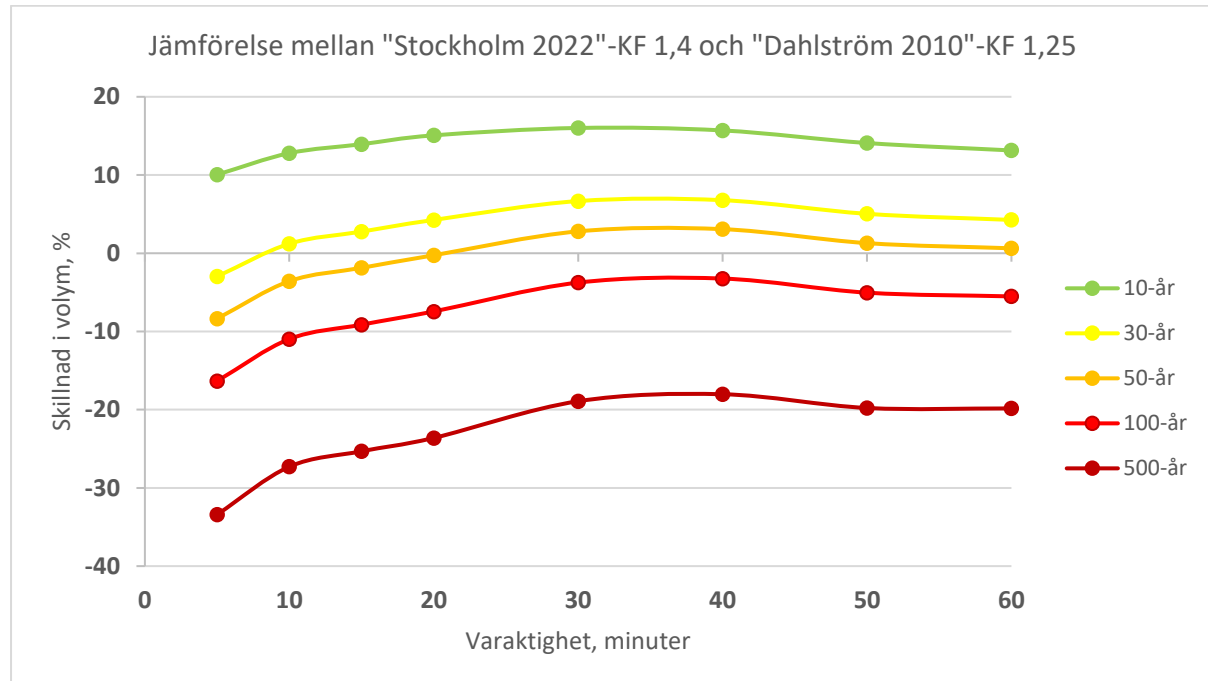
Det kan även ses att skillnaden generellt ökar med varaktigheten. Det kan poängteras att den rekommenderade varaktigheten som skyfallsfunktionen föreslår är 6 timmar, vilket motsvarar 360 minuter på x-axeln i Figur 25. Detta betyder att, för ett 100-årsregn, så är den totala nederbördsvolymen runt 20 % lägre med de nya rekommendationerna, jämfört med nuvarande dimensioneringsförutsättningar.



Figur 25. Jämförelse av nederbördsvolym mellan "Stockholmsregn" med klimatfaktor 1,4 (ny rekommendation) och "Dahlström 2010" med klimatfaktor 1,25 (praxis idag). Ett negativt värde visar hur mycket mindre procentuellt ett regn enligt nya rekommendationer är jämfört med ett regn av motsvarande återkomsttid och varaktighet som används idag.

I Figur 26 visas kortare blockregnsintensiteter. Varaktigheten 5 min motsvarar den maximala nederbördsintensitet som kan inkluderas i ett CDS-regn som konstrueras med hjälp av blockregnsstatistiken. Det

kan tydligt ses att denna maximala regnintensitet (vid värde 5 min på x-axeln) är lägre med de nya rekommenderade dimensioneringsförutsättningarna för 30-årsregn och högre återkomsttider.



Figur 26. Jämförelse av nederbördsvolym mellan "Stockholmsregn" med klimatfaktor 1,4 (ny rekommendation) och "Dahlström 2010" med klimatfaktor 1,25 (praxis idag). Ett negativt värde visar hur mycket mindre procentuellt ett regn enligt nya rekommendationer är jämfört med ett regn av motsvarande återkomsttid och varaktighet som används idag.

Sammantaget visar dessa jämförelser tydligt att de nya dimensioneringsförutsättningarna som rekommenderas ger en lägre "skyfallsbelastning" för höga återkomsttider, från 50 år och uppåt. För återkomsttider runt 30 år och nedåt finns inte samma tydliga förhållande.

7 Referenser

Arnell V. (1991): Nederbördsdata vid dimensionering av avloppssystem. VAV P65.

Dahlström B. (2010): *Regnintensitet - en molnfysikalisk betraktelse*. Svenskt Vatten Utveckling, rapport 2010-05.

Falk B. A. H:son (1951): *Utredning angående nederbördsförhållandena i Stockholm och Uppsala med särskild hänsyn till dimensionering av avlopp*. Byggnadsdelegationen för Storflygplatsen, Stockholm.

Hernebring C. (2006): *10-årsregnets återkomst förr och nu – regndata för dimensionering/kontrollberäkning av VA-system i tätorter*. VA-Forsk rapport 2006-04.

Hernebring C. (2008): *När regnet kommer – effektivare utnyttjande av kommunernas nederbördsinformation*. Svenskt Vatten Utveckling, rapport 2008-17.

Länsstyrelsen Gävleborg (2022): *Utredning av skyfall och översvämningar i Gävleborgs län, augusti 2021*. Rapport 2022:05. ISSN: 0284:5954.

MSB (2023). *Metod för skyfallskartering av tätorter*. Publikationsnummer MSB2260. ISBN 978-91-7927-435-1. <https://www.msb.se/sv/publikationer/metod-for-skyfallskartering-av-tatorter--vagledning/>

Olsson J., Berg P., Eronn A., Simonsson L., Södling j., Wern L., Yang W. (2017) *Extremregn i nuvarande och framtida klimat*. SMHI Klimatologi Nr 47/2017

SMHI och Svenskt Vatten (2020): *Nederbördsstatistik för dimensionering av dagvattensystem – "State of the Art"*.

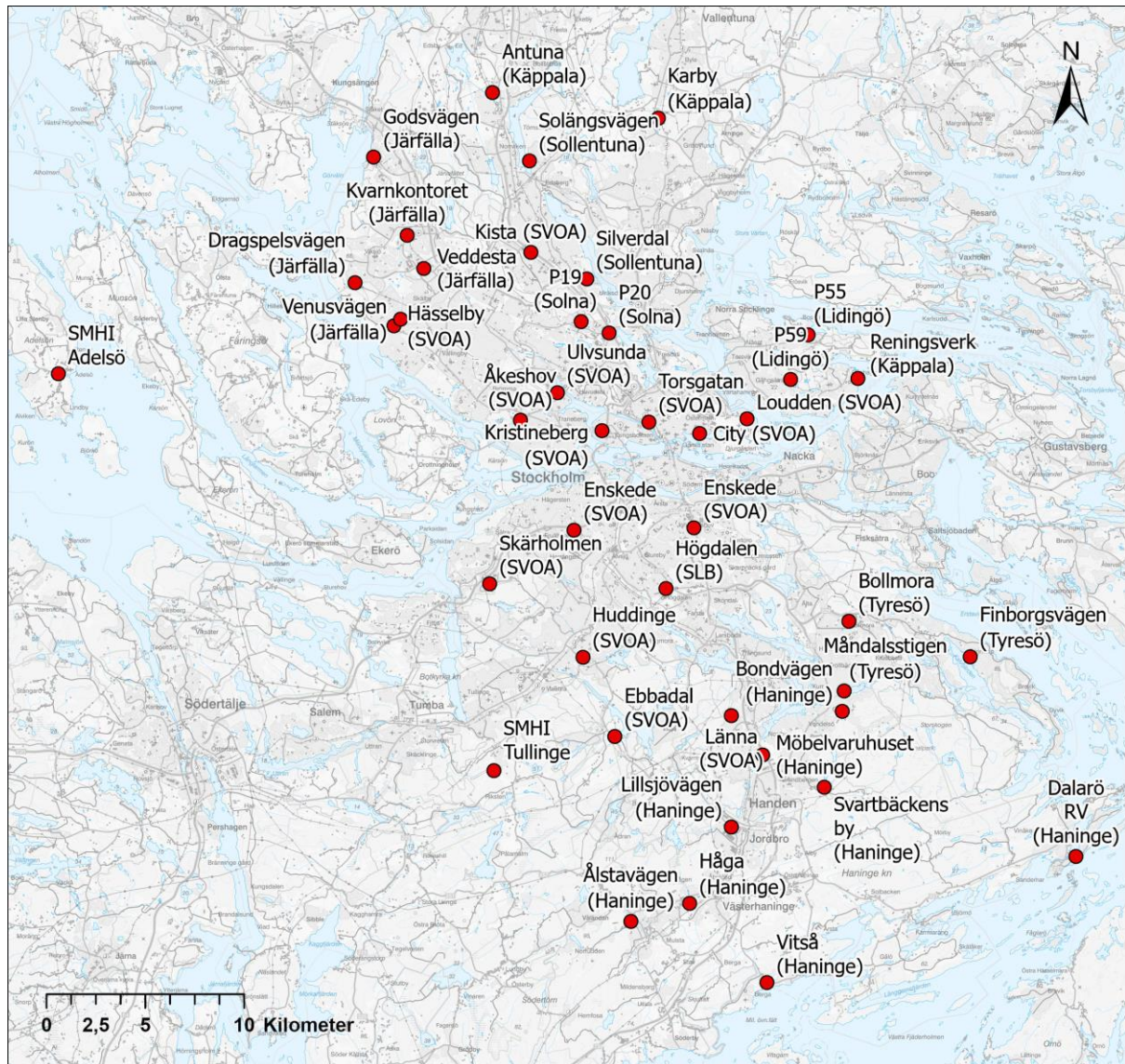
Stockholms stad (2021): *Handlingsplan för klimatanpassning 2022-2025*. Dnr: KS 2020-1033.

Svensk Försäkring (2023): Pressmeddelande; *Skyfallen riskerar kommunernas ekonomier*. <https://www.svenskforsakring.se/aktuellt/press/pressmeddelanden/2023/skyfallen-riskerar-kommunernas-ekonomier/>

Svenskt Vatten (2011): *Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem*. Publikation P104.

Svensson G red., Berg P., Dahlström B., Hernebring C., Olsson J. (2020): *Nederbördsstatistik för dimensionering av dagvattensystem – "State of the Art"*, SVU Utveckling. C-rapport SVU, mars 2020.

Bilaga 1. Karta över mätstationernas namn och placering



Figur 27. Geografisk position av nederbördsstationer samt dessas namn.

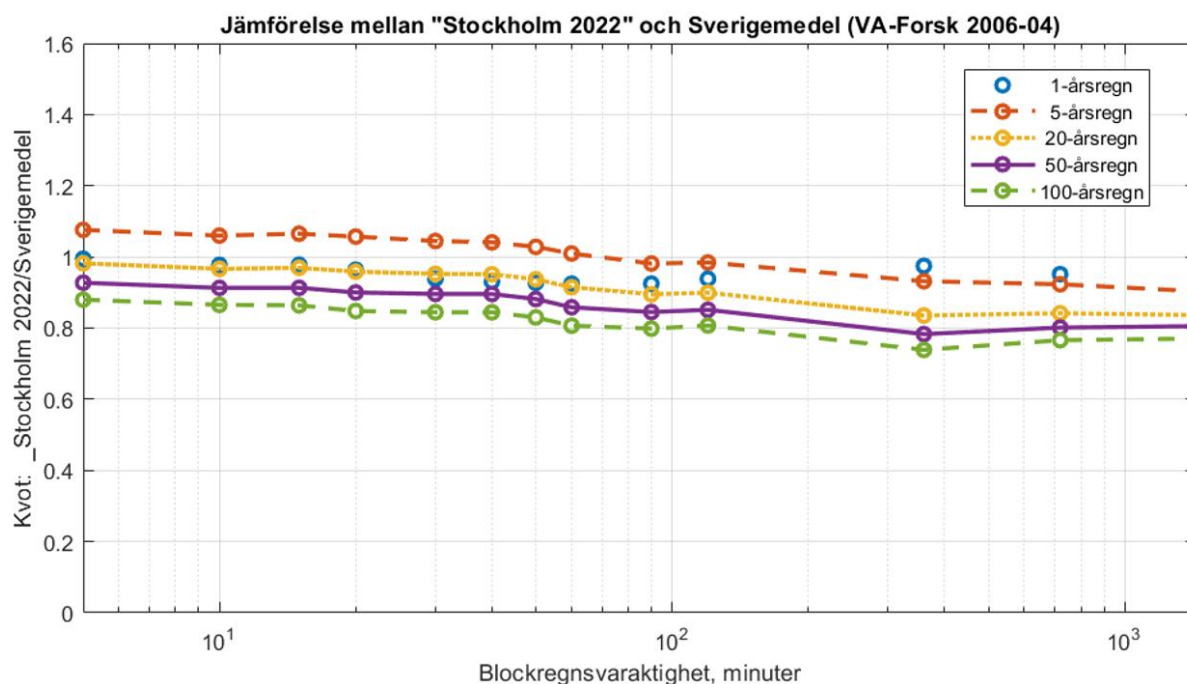
Bilaga 2. Statistik över regnhändelsers tidsförlopp

Tabell 10. Statistik som beskriver hur stor andel av alla regn med extrem nederbörd som släpper en viss andel av sin totala volym inom olika tidsförlopp. Tidsförloppet är centrerat runt regnets mest högentensiva period.

	70 % av regnets volym har fallit	80 % av regnets volym har fallit	90 % av regnets volym har fallit	93 % av regnets volym har fallit	96 % av regnets volym har fallit
Passerad tid (h)	Andel av alla regn som avgett en viss procent (70, 80, 90, 93 eller 96 %) av sin totala volym under en viss tidsperiod. Enhet %.				
0,5	24,2	15,8	7,2	5,2	2,6
1	40,6	31,6	16,6	12,4	8,6
1,5	54,6	42,6	28,8	23,8	17,6
2	63,2	52,6	38	31,4	24,8
2,5	68,2	59,8	43,2	37,6	28,6
3	71	65	50	43,4	36
3,5	75,8	68	56,2	49,2	41,6
4	79	70,4	61,6	54,8	46,8
4,5	82	74,6	64,8	59,4	52,6
5	85,4	77,2	67,4	62,2	56,6
5,5	87,2	79,8	71,2	65,6	61,2
6	89	81,8	74	68,4	62,8
6,5	90	83	75,4	71,8	67,2
7	90,4	85	76,8	73,6	70,6
7,5	91,2	86,4	78,2	74,8	72,6
8	92,6	87	78,8	76,4	73,8
8,5	93	88	79,8	77,8	76,6
9	93,6	89	82	79,8	77,4
9,5	94	89,6	83,4	81,2	79,2
10	95,4	90,8	84,6	82,4	80,2

Bilaga 3. Jämförelse med Sverigemedel, VA-Forsk 2006–04

Hernebring (2006) samlade in högupplösta nederbördsdata från 15 kommuner, sammanlagt drygt 200 stationsår. Resultatet av en samlad bearbetning (= stationsårsmetoden) sammanfattades i en ekvation som benämndes ”Sverigemedel”. Inom parentes utgjorde ”Torsgatan 1984–2004” en delmängd i projektet. Serien återfinns också här (kompletterad) som en delmängd i detta projekt. En jämförelse med dessa data se nedan figur.



Figur 28. Jämförelse mellan ”Stockholm 2022” och ”Sverigemedel, VA-Forsk 2006–04”.

Figuren visar kvoten i blockregnsvolymen för återkomsttider mellan 1 och 100 år, med regnvaraktigheter mellan 5 minuter och 24 timmar.

Bilaga 4. Jämförelse med Stockholmskurvorna (1951)

De så kallade Stockholmskurvorna publicerades av Falk (1951). Den generella formeln för intensitetsvaraktighetskurvorna framgår av ekvationen nedan. Den är resultatet av analys av cirka 550 regn uppmätta vid 6 olika stationsplaceringar inom Stockholmsområdet med varierande antal stationsår under perioden 1907–1946. Totalt innefattades registreringar för 164 stationsår. 17 olika blockregnsvaraktigheter utvärderades, från 5 minuter upp till 4 timmar. Giltighetsområdet för den generella formeln anges för regnvaraktigheter från 5 minuter till 4 timmar, samt för återkomsttider från $\frac{1}{3}$ till 100 år. Ekvationen refereras till av Hernebring (2006).

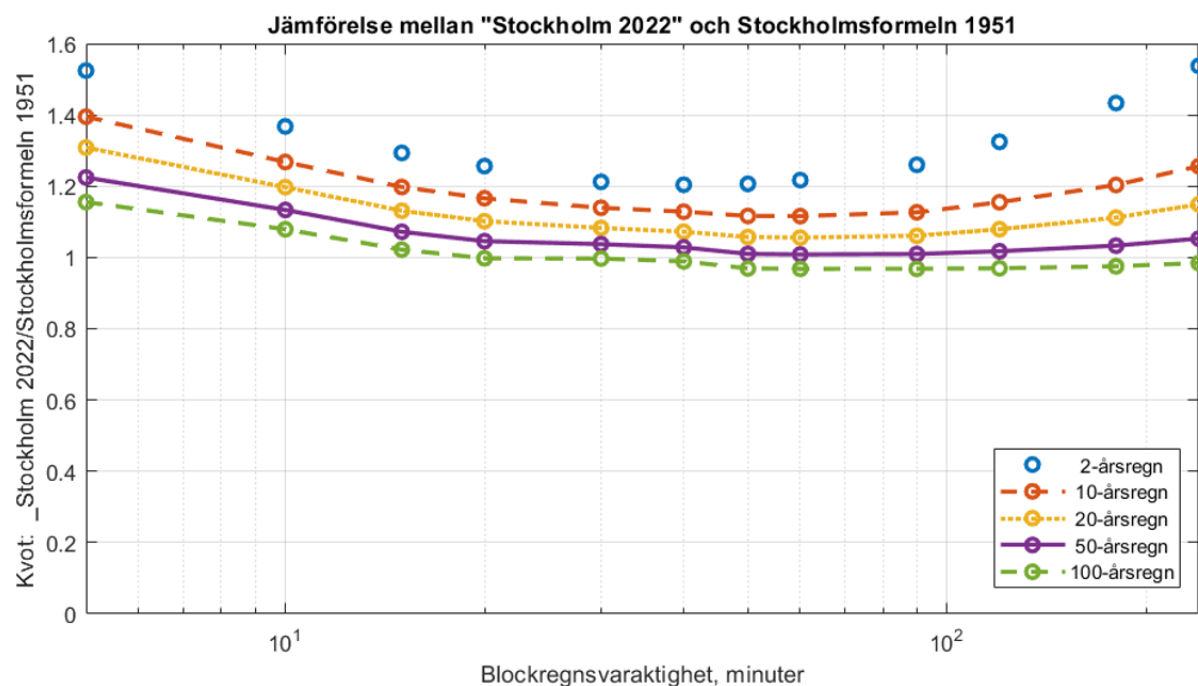
$$i_A = \frac{3900(\sqrt[4]{A} - 0.49)}{t_R + 15(1 - \frac{0.32}{\sqrt[3]{A}})} + 5$$

t_R - regnvaraktighet (minuter)

A - återkomsttid (år)

i_A - regnintensitet (l/s, ha)

Jämförelsen med här aktuella data visas i Figur 29. Eftersom kvoten med vissa undantag är större än 1, skulle det kunna tolkas som en bedömning av en "klimatfaktor", nederbörds-intensiteter "nu" i relation till förhållanden 80–100 år tillbaka i tiden.



Figur 29. Jämförelse mellan "Stockholm 2022" och Stockholmskurvorna (1951) – Kvot blockregnsvolym. Återkomsttid 2 – 100 år. Regnvaraktighet 5–240 minuter (x-axelns skala)