

UTREDNING KRING VAL AV VARAKTIGHET VID SKYFALLSKARTERINGAR

INVESTIGATION OF THE CHOICE OF RAIN DURATION'S IMPACT ON URBAN FLOOD MAPPING



Lina Skilberg

*Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Villavägen 16,
752 36 Uppsala lina.skilberg@norconsult.com*

Sammanfattning

Marköversvämningar kan uppstå till följd av ytavrinning vid intensiva nederbördstillfällen. Risken för större översvämningsutbredning ökar i urbaniserade områden där det finns stor andel hårdgjorda ytor och ett minskat antal grönytor till följd av förtätningar som ett resultat av urbanisering. I kombination med att skyfall förväntas bli kraftigare och mer frekventa i framtiden gör det städer mer exponerade för översvämningar och det behövs tas hänsyn till extrem nederbörd i samhällsplanering. EU antog 2007 ett översvämningsdirektiv som Sverige har implementerat genom förordningen om översvämningsrisker och Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om riskhanteringsplaner. Detta ligger som grund till att många kommuner och privata aktörer idag utför så kallade skyfallskarteringar, en datorberäknad simulering där konsekvenserna av ett skyfallsscenario kan analyseras. Skyfallskarteringar genomförs ofta i enlighet med den vägledning som har tagits fram av MSB, Svenskt Vatten och olika länsstyrelser. Det finns i vägledningen rekommendationer om vilken säkerhetsnivå som ska väljas på de regn som används i skyfallskarteringen, men då volym och intensitet inte är entydigt för ett visst regn utan också beror på regnvaraktighet riskerar resultatet att överskattas eller underskattas beroende på hur regnet väljs. Att hitta en nationell standard för specifika parameterintervall inom skyfallskarteringar verkar dock vara svårt att uppnå på grund av skillnader i modellområden.

Abstract

As a result of intensive cloudbursts, runoff creates pluvial flooding. The risk for more extensive flooding increases in urban areas where a majority of the land use consists of impervious areas. At the same time, extreme rain events are predicted both to be more intense and more frequent in the future which needs to be taken into consideration in spatial and community planning. In 2007 the European Union adopted a flooding directive with the purpose of mapping flooding threats and create risk assessments plans to reduce the consequences of extreme rain events. This has been implemented in Sweden by regulations and it has been declared that the Swedish Civil Contingencies Agency is the responsible authority for the preventive work against floods. In the guidelines published by the Swedish Civil Contingencies Agency, county administration boards and The Swedish Water & Wastewater Association there is a recommendation on which safety level the design rains should have in cloudburst mapping. However, the rain volume and intensity are not unambiguous for a specific safety level but also depends on the rain duration. Though, it seems hard to find a national standard for specific parameters within cloudburst mapping since the modeled areas are so diverse.

Key words: cloudbursts, pluvial flooding, storm duration, design rain

Inledning

Skyfall, som beskrivs som extrem nederbörd med hög regnintensitet, sker ofta under korta tidsintervaller och på en lokal skala. SMHI har under en lång tid definierat skyfall som ett regn med minst 50 mm på en timme eller minst 1 mm under en minut (Olsson & Josefsson, 2015). Översvämningar till följd av skyfall är något som de senaste åren har ökat både i antal och omfattning. Detta innebär stora utmaningar för befintlig såväl som ny bebyggelse i många städer och tätorter. Särskilt utsatta är de städer som i hög takt förtätas och hårdgörs till följd av en hög urbanisering, där avrinningen ökar samtidigt som de permeabla ytorna minskar. Urbanisering och förtätning minskar ytor som har möjlighet att ta hand om överskottsvatten, i kombination med klimatförändringar och exploatering nära vattendrag, sjöar och hav försvårar översvämningensproblematiken (Ashley et al., 2005). Skador och samhällsstörningar som orsakas av skyfall kan medföra stora konsekvenser, både direkta och indirekta påföljder men också stora kostnader. Att förebygga skador i samhällsplanering till följd av skyfall är av största angelägenhet då det rent ekonomiskt är ogenomförbart att öka kapaciteten hos dagens ledningsnät så att de klarar av extremt kraftiga skyfall (MSB, 2017). Förutom den ekonomiska aspekten finns det inte heller någon teknisk rimlighet att dimensionera ledningar som är så pass stora att de kan hantera alla regn. Istället blir det en stadsplaneringsfråga att ta hand om dagvatten vid extrem nederbörd, någon skyfallskartering kan ligga till grund för (Hernebring et al., 2015).

Två exempel på extrem nederbörd i Norden i modern tid är skyfallet i Köpenhamn år 2011 och skyfallet i Malmö år 2014. Den andra juli 2011 föll det runt 150 mm på två timmar i Köpenhamn, något som bedömdes motsvara ett 1000-årsregn. Detta ledde till att infrastruktur skadades allvarligt, sjukhus var tvungna att stänga och en total kostnad på ca en miljard euro i skadestånd (Haghighatafshar et al., 2014). Skyfallet över sydvästra Skåne är något av de intensivaste som upplevts i Sverige sedan mätningarna med högre upplösning påbörjades. Regnet pågick under ca sex timmar och fyllde till en början upp avloppsledningar, lågpunkter och

källare innan det ökade ytterligare och konsekvenserna blev ovanligt allvarliga. Det största punktvärde i Malmö omräknades till en återkomsttid på 370 år enligt Dahlström (2010) ekvation för regnintensiteter (Hernebring et al., 2015). Resterande delar av Malmö drabbades av regn med återkomsttider större än 100 år och den största regnvolymen som uppmättes under sex timmar var mer än 120 mm (Svenskt Vatten, 2016). Enligt Svensk Försäkring uppgick de totala skadeståndskostnaderna till över 300 miljoner svenska kronor (Hernebring et al., 2015).

Förändringar i vårt klimat har observerats till följd av ökade halter av växthusgaser, den lägre atmosfären har blivit varmare och nederbördsmönstret har ändrats. Hur stor den framtida förändringen blir beror på hur mycket strålningsbalansen kommer att förändras men också på klimatsystemets respons (Kjellström et al., 2014). De klimatmodeller som används idag är sammanställda av IPCC - Intergovernmental Panel of Climate Change, FN:s klimatpanel. De olika scenarierna sammanställdes senast 2014 av IPCC:s femte arbetsgrupp och arbetet med en sjätte rapport är under framtagande (SMHI, u.d.).

IPCC presenterade i sitt senaste arbete fyra olika klimatscenarioer, RCP:er (Representative Concentration Pathways), med olika utgångslägen och kännetecknas av sin totala strålningsdrivning år 2100 i förhållande till 1750. Det scenariot med lägst strålningsökning motsvarar strax över dagens nivåer (RCP2.6) medan två är så kallade stabiliserings-scenarioer (RCP4.5 och RCP6.0), vilket betyder att strålningsdrivningen beräknas stabiliseras till 2100 respektive 2150. Det ska dock tilläggas att vid dessa stabiliserings-scenarioer så är det troligt att temperaturökningen kommer att medföra stora konsekvenser och risker för tröskeleffekter ökar. Det sista scenariot representerar en framtid med fortsatt mycket höga utsläpp av växthusgaser (RCP8.5). Endast i det scenario med minst klimatpåverkan är det sannolikt att den globala medeltemperaturen understiger 1,5°C till slutet av detta sekel, jämfört med förindustriella temperaturer. För de andra RCP:erna varierar ökningen i global medeltemperatur i genomsnitt mellan 1,3–2,0°C

under åren 2046–2065 och 1,8–3,7°C under 2081–2100 (Kjellström et al., 2014).

Skyfallen i Sverige förutspås att bli mycket kraftigare då en varmare atmosfär kan hålla mer vattenånga. Sett till historiska data är det svårt att dra några slutsatser kring trender, detta på grund av att automatstationer som kan mäta med högre upplösning endast har dataperioder på 25 år. Innan dessa automatstationer installerades mättes dygnsnederbörd vilket inte har en tillräcklig upplösning för att avgöra om det har varit ett skyfall eller inte. Men i vissa kommuner finns det mätstationer med längre dataserier av högre upplösning, trots detta har det ännu inte hittats några entydiga trender i korttidsnederbörd (<1 dygn). Däremot kan trender ses i dygnsdata, där konstateras en ökning i nederbörd under de senaste 50 åren (Olsson & Josefsson, 2015).

De förändringar i klimatet som förväntas ske, kommer att göra skyfall mer frekventa och kraftfulla. Observationer i Sverige visar att nederbörden har ökat de senaste två decennierna men det finns inga tydliga tidsmässiga tendenser gällande skyfall, utan de tycks ligga på en konstant nivå (Achberger et al., 2015; Olsson et al., 2017). Däremot kan det konstateras att i och med klimatförändringarna förväntas skyfallen öka mellan 10–40 % beroende på klimatscenario, tidsram och vilken region som undersöks (Olsson et al., 2017). Om regnintensiteten skulle öka med 25 % skulle också sannolikheten för det som vi idag klassar som ett 100-årsregn fördubblas. Det kommer ställa höga krav på framtidens städer (MSB 2017). Många strukturer i samhället, inkluderat avlopp- och dagvattensystem har en teknisk livstid på mer än 100 år. Därför är det av största vikt att ta hänsyn till framtida effekter av klimatförändringarna i dimensioneringen av dessa (Arnbjerg-Nielsen, 2012). Utifrån prognosen att extrem nederbörd kommer att öka i framtiden antog EU år 2007 ett översvämningsdirektiv. Översvämningsdirektivets syfte var att arbeta för att minska konsekvenserna av översvämnningar genom att kartlägga översvämningsshot och ta fram riskhanteringsplaner för utsatta områden. I Sverige genomförs detta genom förordningen om översvämningsrisker (SFS 2009:956) och Myndigheten för

samhällsskydd och beredskaps (MSB) föreskrifter om riskhanteringsplaner (MSBFS 2013:1). MSB har också utsetts till ansvarig myndighet för det skyfallsförebyggande arbetet i Sverige. Trots översvämningsdirektivet finns det idag inga myndighetskrav på vilken säkerhetsnivå, det vill säga vilken återkomsttid på skyfall, som ska användas vid kartläggning eller förebyggande arbete (Bäckman, 2018).

Utifrån detta har kommuner och andra aktörer börjat arbetet med att bland annat utföra så kallade skyfallskarteringar, vilket är en analys av konsekvenserna vid ett specifikt regn. Analysen kan i sin tur kan vara underlag för beredskapsplanering, åtgärdsplanering och användas vid framtagande av en strukturplan för vatten (MSB, 2017).

En skyfallskartering kan göras på flera olika sätt och det finns idag några etablerade vägledningarna och rekommendationer för skyfallsmodellering i Sverige från bland annat MSB, Svenskt Vatten och ett flertal länsstyrelser. Grunden för MSB:s senaste rapport Vägledning för skyfallskartering var att många kommuner idag redan arbetar med skyfallsfrågor men många ansåg också att det fanns för lite underlag för hur en skyfallskartering skulle utföras (MSB, 2017). I de olika rekommendationerna återfinns metodik för att utföra skyfallskarteringar, parameterval, krav på underlag men också delvis hur resultatet från skyfallsmodellerna ska analyseras. Vägledningarna rekommenderar idag generellt att karteringar ska utföras för regn med minst 100-års återkomsttid och med en klimatfaktor som beaktar ovanstående förväntade förändringar i klimat. Däremot är inte regnvolym och intensitet entydig för ett 100-års regn utan beror på varaktigheten för regnet, vilket också gäller för regn med andra återkomsttider. Valet av varaktighet bör därför i stor utsträckning påverka förloppet och därmed konsekvenserna av ett skyfall. I de etablerade vägledningarna finns idag få rekommendationer kring vilken varaktighet som bör användas och de är dessutom sparsamt motiverade. Om varaktigheten väljs längre än det tar för en regndroppe att rinna från den avlägsnaste punkten i avrinningsområdet till utloppet kan simuleringstiden bli onödigt lång, men väljs den för kort kan resultatet bli

underskattat. Då resultatet från skyfallskarteringar ligger som grund för viktiga och kostsamma beslut är det därför av intresse att undersöka hur regn med olika varaktighet kan väljas och vad det ger för skillnad i resultat.

Utifrån vägledning ifrån MSB, Svenskt Vatten och andra aktörer finns det idag flera rekommendationer kring tillvägagångsätt och parameterintervall för skyfallskartering. Dessa rekommendationer har sammanfattats i tabell 1 för att skapa en översikt. I många fall liknar anvisningarna varandra men sällan finns det en helt entydig beskrivning för ett parameterintervall. För till exempel Mannings tal och infiltration finns det beskrivet hur de bör väljas men få schablonvärden. Det blir därför upp till

användaren att själv avgöra vad som är lämpliga värden och vilka referenser denne vill utgå från.

Under detta arbete utfördes två sådana skyfallsanalyser att på tätorterna Tived (Laxå kommun) och Latorp (Örebro kommun). Ofta genomförs skyfallskarteringar på mer urbana områden då hårdgjorda ytor försvårar översvämningproblematiken, men det kan vara lika viktigt att undersöka tätorter eller andra områden för att förhindra skador. Arbetet, som är ett examensarbete i civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik på Uppsala Universitet, gjordes genom ett EU-finansierat projektstöd för att främja lokalt ledd utveckling och stärka landsbygdens ekonomi kallat Leader. Artikel som följer är en sammanfattning av exa-

Tabell 1. Sammanfattning av de rekommendationer som finns vid val av parametrar vid skyfallskartering. * t_c = rinnetid

Parameter	Rekommendation
Typregn	CDS (Länstyrelsen, 2018; MSB, 2017)
Återkomsttid	100–1000 år. Studera två regn minst ett större (MSB, 2017) 100 år, vid samhällsviktig verksamhet krävs större säkerhetsnivå (Länstyrelsen, 2018; Gustafsson, 2019)
Varaktighet	6 h (MSB, 2017) 4 h (Lerer et al., 2017) 3 h eller t_c^* (Marsalek & Watt, 1984) t_c + säkerhetsmarginal, standardvärde 4 h (Svenskt Vatten, 2011) Minst t_c (Länstyrelsen, 2018)
Klimatfaktor	1,2–1,5 (MSB, 2017) 1,1–1,4 (Olsson et al., 2017) 1,25 vid kortare nederbördstillfälle, 1,2 vid längre (Svenskt Vatten, 2016), 1,2–1,4 (Länstyrelsen, 2018)
Ledningsnät	Schablonmässigt avdrag (10-årsregn) vid översiktliga studier, 1D-analys vid detaljerade studier (MSB, 2017)
Upplösning	1–5 m, 4 m vid översiktliga studier, <2 m vid detaljerade studier (MSB, 2017)
Mannings tal	Minst olika för hårdgjorda och övriga ytor, förslagsvis 50 för hårdgjorda och 2 för gröna ytor (MSB, 2017)
Byggnader	Bör höjas i terrängmodellen (MSB, 2017; MSB, 2014)
Vägbanor	Sänks vid detaljerade studier, annars omotiverat tidskrävande (MSB, 2017)
Broar	Bör korrigeras till marknivå (MSB, 2017; MSB, 2014)
Trummor/kulvertar	Inkluderas i detaljerade studier (MSB, 2017; MSB, 2014))
Infiltrationskapacitet	Schablonmässigt avdrag (MSB, 2014) Beskrivning av översta jordlagren (MSB, 2017)
Modellområde	Naturligt/tekniskt avrinningsområde (Länstyrelsen, 2018)
Skevhetsfaktor r	0,3–0,48, men 0,37 rekommenderas (Svenskt Vatten, 2011)

mensarbetet, för mer bakgrund och information om modelluppställning se min fullständiga rapport Utredning kring val av varaktighet vid skyfallskararteringar (Skilberg, 2020).

Metodik

För att undersöka skillnad i val av varaktighet valdes att modellera fyra regnvaraktigheter utifrån olika rekommendationer; 3 h (Marsalek & Watt, 1984), 4 h (Svenskt Vatten), 6 h (MSB) samt den beräknade rinntiden i området, vilket i detta fall rör sig om 35 respektive 95 minuter. Dessa varaktigheter valdes att testas på två olika områden, område 1 i Tived, Laxå kommun, och område 2 i Latorp, Örebro kommun. Avrinningsområdena togs fram via ArcGIS och rinntiden beräknades utifrån den längsta rinnsträcka i området. Då områdena innehöll olika typer av markanvändning användes Vägverkets ekvation (2008) för rinntid, där hänsyn tas till skillnader i lutning och Mannings tal.

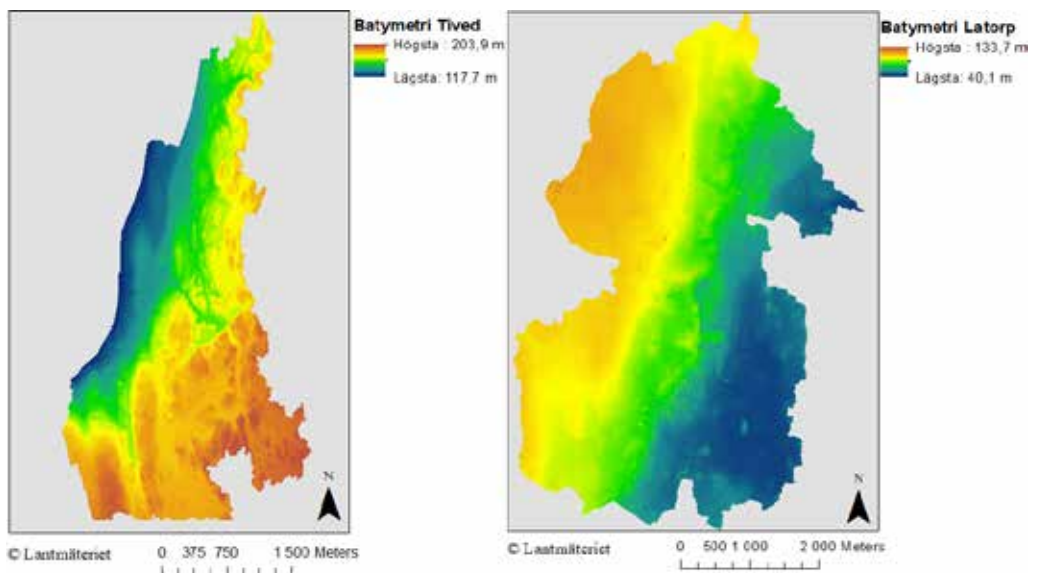
För att analysera skillnaden i resultaten användes MIKE 21 Flow Model, är ett modelleringsverktyg för att simulera tvådimensionella ytvattenflöden och transporter. Många funktioner relaterar till processer som sker i kustområden, sjöar, flodmynningar och hav men verktyget fungerar väl på

inlandsprocesser, som översvämningar. Verktyget kan användas när stratifikation kan försummas (DHI, 2017). I MIKE 21 Flow Model byggs modelleringen upp av ett flertal moduler där den mest grundläggande komponenten är den hydrodynamiska modulen. Den hydrodynamiska modulen simulerar varierande vattennivåer och flöden med ekvationer som bygger på bevarande av massa och moment integrerat i vertikalled (DHI, 2016).

En detaljerad beskrivning av uppställning av modellen återfinns i arbetet Utredning kring val av varaktighet vid skyfallskararteringar (Skilberg, 2020).

Batymetri

För att modellera markavrinning och översvämningar i MIKE 21 krävs en definiering av topografin, vilket i MIKE 21 specificeras genom batymetri som beskriver terrängens fysiska form när området fylls med vatten (motsvarigheten till topografi) (DHI, 2017). Batymetrin för utredningsområdena redovisas i figur 1 och har upplösningen 2x2 m för båda områdena. För område 1 ansattes en höjdnivå för sjön som går hela vägen ut till modellgränsen, detta för att försöka beskriva hur vatten kan genom sjön flöda ut ur modellen.



Figur 1. Batymetrin för de två utredningsområdena, område 1 (t.v.) och område 2 (t.h.).

Nederbörd

Ett modellregn av CDS-typ kan skapas utifrån Svenskt Vatten P104 i enlighet med Dahlström (2010) ekvation för dimensionerande regnintensiteter. Blockregnsvaraktigheter [min] väljs då utifrån de valda varaktigheternas längder, från 5 minuter upp till den totala regnvaraktigheten. Blockregnsintensiteterna [l/s ha] beräknas utifrån Dahlström (2010), och multipliceras därefter med klimatfaktorn. Principen för att få fram de olika tidsstegen följer Svenskt Vatten (2011) metodik och bygger på att maxintensiteten på regnet ska inträffa vid skevhetsfaktorn r multiplicerat med den totala varaktigheten från regnets början. I nästan alla scenarier var 5 minuter det kortaste blockregnsintervallet (maxintensitet). Detta tillvägagångssätt skapar regndata med icke ekvidistanta tidssteg vilket inte går att använda i MIKE 21. Därför var regnfilen tvungen att interpoleras ut genom att använda MIKE Zero Toolbox.

Totalt skapades fem olika regnfiler, alla med återkomsttiden 100 år, klimatfaktor på 1,25, skevhetsfaktor 0,37 men med varaktigheterna 6 h, 4 h, 3 h samt rinnitid för respektive område. Återkomsttiden 100 år valdes utifrån att det inte finns någon samhällsviktig verksamhet i någon av de undersökta områden och skevhetsfaktor är det rekommenderade värdet ifrån Svenskt Vatten (2011). Vid val av klimatfaktor valdes att använda den klimatfaktor som används inom Norconsult AB. Detta med stöd utifrån vad Svenskt Vatten (2011) rekommenderar samt Gustafsson (2019) rekommendationer att välja något mitt i om det är osäkert vilken tidshorisont som undersöks. Varaktigheterna som ska studeras valdes utifrån vägledning och litteraturvärden.

Markens råhet

Flödesmotståndet påverkas av markens råhet vilket i sin tur påverkar flödes hastigheten och hur stor översvämningsutbredningen blir. Markens råhet beskrivs med hjälp av Mannings tal, M [$m^{1/3}/s$]. Generellt har gröna ytor mycket lägre Mannings tal än impermeabla ytor såsom betong, det innebär att de gröna ytorna har ett större flödesmotstånd och motverkar översvämningsutbredningen (MSB

2014). Enligt MSB (2014) så är ett Mannings tal på 50 representativt för ogenomträngliga ytor medan 2 är representativt för gröna ytor. Användningen av Mannings tal kan utvecklas ytterligare och det kan användas fler värden för att beskriva olika typer av markytor (Vägverket, 2008). Värden på Mannings tal valdes utifrån fastighetskartan och ortofoto och är baserade på värden ifrån Vägverket (2008) och Chow (1959).

Infiltration

För de ytor som är genomsläppliga kan infiltrationen spela stor roll. Skyfall inträffar främst under sommarmånaderna då grundvattennivåerna i marken är låga, detta gör att det kan finnas mer magasineringkapacitet än vanligt i de jordlagren närmst ytan. Men trots att det finns magasineringkapacitet kan markens infiltrationskapacitet snabbt överspelas av regnintensiteten vid skyfall (MSB, 2017). De värden som användes tillhandahölls av Norconsult men användes med stöd ifrån Larsson (2008). För att få med information om markens infiltration skapades ett lager i ArcGIS som utgick från SGU:s jordartskarta.

Statistiska tester och känslighetsanalys

För att verifiera resultatet kring volym och vattendjup valdes också att utföra ett antal statistiska tester. Kolmogorov-Smirnov användes för att analysera skillnaden i de olika vektorernas fördelning och Wilcoxon rangsummetest för att undersöka skillnader i dess median.

Till sist utfördes också en känslighetsanalys för att utvärdera effekterna av förändring i varaktighet jämfört med andra parametrar. Under arbetet upptäcktes att Mannings tal spelar stor roll för stabiliteten hos modellen, därför valdes det att ändra värdet på Mannings tal med 25 % för den markanvändning som dominerar i området. Då den dominerande markanvändningen (skog) hade ett relativt lågt Mannings tal valdes att göra en ökning istället för en minskning av värdet. För att ytterligare jämföra genomfördes en känslighetsanalys på den dominerande jordarten där infiltrationshastigheten också ökades med 25 %. Då modellen för område 2 var betydligt större och hade längre

simuleringstid genomfördes känslighetsanalys endast på simuleringen av område 1 med 240 minuters varaktighet.

Resultat

Avrinningsområdet togs fram för båda områdena genom ArcGIS, storlek för de respektive områdena blev 8,7 km² för område 1 och 22,7 km² för område 2. De båda områdena fick minst två delavrinningsområden och rinntiden beräknades utifrån den längsta rinnsträckan. I de båda områdena var det nästan samma marktyp över rinnsträckan och därför varierade Mannings tal mycket lite. Rinntiden blev 95 min i område 1 och 35 min i område 2.

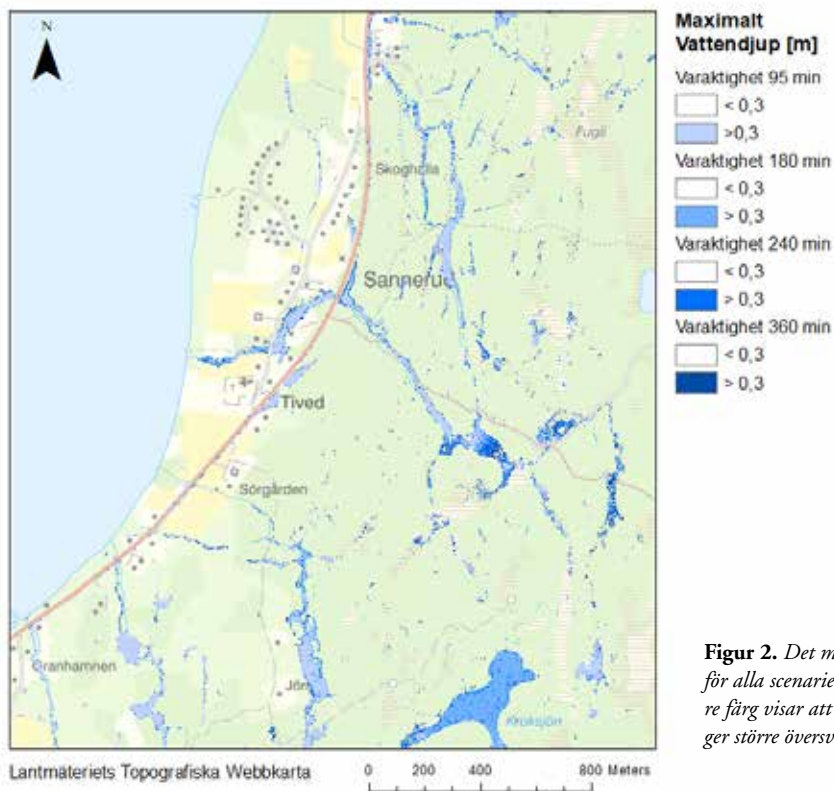
Då rinntiden var beräknad skapades fem olika regnfiler med de olika varaktigheterna. Som det går att se i tabell 2 så ökar volymen nederbörd [mm] ju längre regnet blir.

Tabell 2. Det totala volymtillskottet vatten [mm] för hela nederbördstillfället.

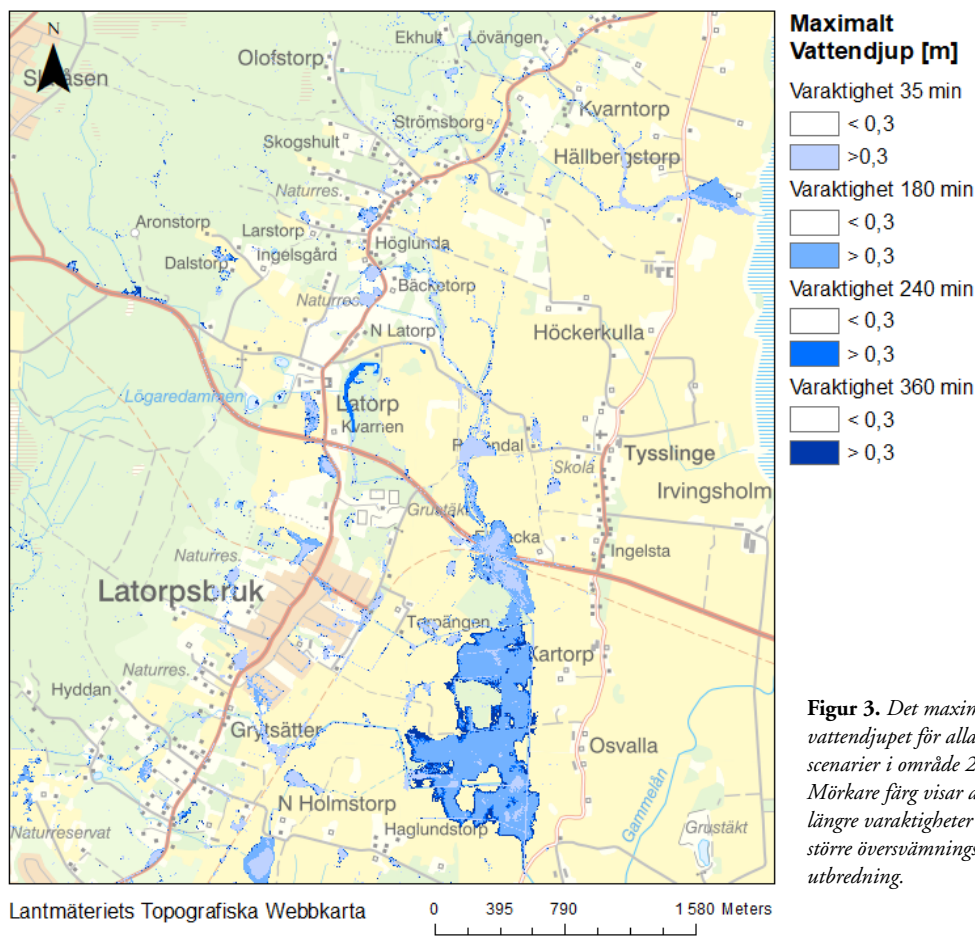
Varaktighet [min]	Volymtillskott [mm]
360	106
240	92,6
180	89,9
95	77,0
35	58,3

Översvämningsutbredning

I båda områdena kunde en skillnad ses i översvämningsutbredning beroende på vilket scenario som modellerades. Framst sågs en skillnad mellan de scenarierna med kortast respektive längst varaktighet. I figur 2 och 3 går det att utläsa maximalt vattendjup för område 1 respektive område 2. En ljusare nyans av blå visar område som blir översvämmade i scenarier med kortare varaktighet och



Figur 2. Det maximala vattendjupet för alla scenarier i område 1. Mörkare färg visar att längre varaktigheter ger större översvämningsutbredning



Figur 3. Det maximala vattendjupet för alla scenarier i område 2. Mörkare färg visar att längre varaktigheter ger större översvämningsutbredning.

mörkare blå visar områden som också blir översvämmade vid scenarier med längre varaktighet.

Vattenvolymer

De två olika områdena påvisade också en skillnad i vattenvolym beroende på scenario. I tabell 3 visas en jämförelse från de scenario med kortast varaktighet för respektive område. I samtliga fall ökar volymen vatten med ökande regnvaraktighet.

Det totala volymerna i område 2 efter respektive regn visar att scenariot med 35 mins varaktighet ger störst volymer (tabell 6). Regnet i detta scenario hinner inte rinna bort på samma sätt som i de andra på grund av att dess mycket korta varaktighet

inte ger samma form som ett typiskt CDS-regn. För längre varaktigheter minskar regnintensiteten vilket ger en avtagande effekt där mer infiltration kan ske. Därför testades också ett scenario med 35 mins varaktighet av regn följt av 25 min simuleringsstid utan regn för att se hur mycket vatten som rinner bort och bättre spegla verkligheten. Courant numret, som är relaterat till modellens stabilitet, visade att modellen för område 1 var stabil för alla simuleringar. För modellen för område 2 uppvisades instabilitet och på grund av begränsad datakapacitet kunde inte tidssteget sänkas mer än till 0,5 s varvid full stabilitet inte uppnåddes i modellen.

Alla statistiska tester visade att samtliga data skil-

Tabell 3. Procentuell skillnad i vattenvolym jämfört med det scenario med kortast varaktighet.

Område	Varaktighet [min]	Total volym vatten [m ³]	Ökning från 95 min varaktighet
1	360	152 900	30 %
	240	138 900	18 %
	180	127 500	8 %
	95	117 300	
2	Varaktighet [min]	Total volym vatten [m³]	Ökning från 95 min varaktighet
	360	467 500	40 %
	240	436 200	30 %
	180	424 500	27 %
	35	872 100/335 000*	

de sig signifikant åt vilket stödjer resultatet att det finns tydlig skillnad i resultat beroende på vilken regnvaraktighet som används.

Känslighetsanalys

Resultatet från känslighetsanalysen visar i tabell 4 att ökar Mannings tal med 25 % så minskar totalvolymen med ungefär 2% men volymen vatten centralt ökar med ca 1 %. Detta går också att urskilja i differenskartan, figur 4, där vattennivån i lågpunkten precis innan centrala Tived är högre vid förändrat Mannings tal än för referensscenario. För infiltration kan det enbart ses en minskning av både totalvolym och volym centralt. Men det går att urskilja en skillnad i vattennivå i de södra delarna av analysområdet där vattennivån bli lägre för ökad infiltration jämfört med referensen.

Diskussion

Rinntid

I detta arbete togs avrinningsområdena fram genom geografiska informationssystem, vilket är ett

av de vanligare sätten. Detta innebär dock vissa förenklingar av verkligheten, till exempel tas det inte någon hänsyn till andra vattendelare än topografien. Avrinningsområdets begränsningar blir också mer precisa ju högre höjddatans upplösningen är (Naturvårdsverket, 2019). Rinntiden beräknades sedan fram genom att mäta sträcka och lutning samt undersöka markanvändning och välja ett passande Mannings tal. Hur avrinningsområde och rinntiden beräknas beror alltså i allra högsta grad på utövaren, vilka val denna tar och hur noggrant rinnsträcka och lutning mäts upp. I praktiken kan analysområdet väljas innan avrinningsområdet tagits fram på grund av omkostnader och att underlag tas fram i förhand. Detta medför att delar av ett delavrinningsområde kan missas i analysen och resulterade volymer kan bli mindre än om hela området undersökts.

För att ta fram rinntiden i ett område krävs vissa generaliseringar då rinnsträckan sällan är rät utan följer landskapet, något som kan vara både tidskrävande och problematiskt att mäta. Att få med varje

Tabell 4. Resultatet från känslighetsanalysen visar att totalvolymen minskar med ett ökat Mannings tal och infiltration men i centrala delar av område 1 ökar det något med ökad Mannings tal.

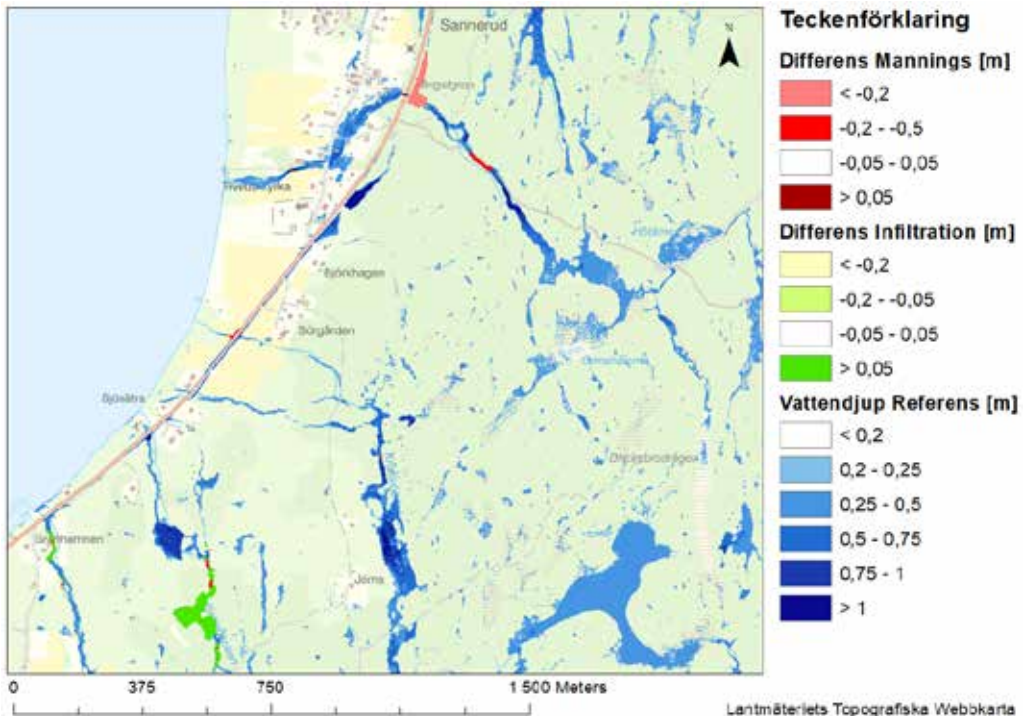
	Referens, varaktighet 240 min	Mannings tal + 25 %	Infiltration + 25 %
Total slutgiltig volym vatten	138 900 m ³	136 200 m ³	136 400 m ³
Differens referensscenario		-1,94 %	-1,80 %
Volym vatten centrala delar	2 280 m ³	2 300 m ³	2 270 m ³
Differens referensscenario		+0,88 %	-0,44 %

förändring kan vara tidsödande och skillnaden i resultatet kan vara mycket liten om sträckan som beräknas är lång. Områdena som används i detta arbete kan ses som relativt stora då många skyfallskarteringar sker på mindre urbana analysområden, i dessa fall finns det mer belägg för att göra en noggrannare undersökning av rinntiden. Det finns andra sätt att beräkna rinntid där lutning, längd och Mannings tal inte beräknas för delsträckor utan ett medelvärde för hela avrinningsområdet tas. I en handbok skriven av United States Department of Agriculture (1997) beskrivs ett flertal sätt att beräkna rinntid, dels på detta generaliserade sätt dels liknande metoden i detta arbete. De flesta metoder kräver olika information om avrinningsområdet och det kan därför vara motiverat att metoden för beräkning av rinntid väljs utefter vilket underlag som finns tillgängligt för området. Problematiken gällande skyfallskarteringar är att de ofta görs un-

der en budget och tiden är en viktig aspekt att ta hänsyn till. Av denna anledning är det viktigt att metodiken inte är allt för tidskrävande.

Regnvaraktighet

I båda områdena tenderar den totala volymen vatten att öka om varaktigheten ökar. Detta trots att områdena har väldigt olika karaktär på grund av skillnader i jordarter, markanvändning och storlek på avrinningsområdet. De båda områdena är också olika placerade i sina respektive huvudavrinningsområden. Undersöks riskområden i modellerna så ses inte en lika tydlig tendens till ökning, därför kan det tänkas att denna trend inte går att ses i hela området. Sett till översvämningsutbredningen ger de olika scenarierna en viss skillnad. I område 2 syns detta tydligt, där ökar översvämningsutbredningen markant med att varaktigheten ökar, speciellt på de åkrar som utgör ett lågområde. Att en



Figur 4. Differenskartan för känslighetsanalys. Negativa värden indikerar att förändrat Mannings tal eller infiltrationsvärde ger en högre vattennivå än referens, positiva värden indikerar att de ger ett lägre vattenstånd än referens.

ökad varaktighet ger upphov till större volym vatten känns naturligt då det är en större mängd nederbörd som faller och i detta arbete kunde det ses en trend hos analysområdena trots deras olikheter.

I område 2 ger dock den lägsta varaktigheten (rinntiden) en större volym vatten vilket kan kopplas till att CDS-regnet avslutas mer abrupt jämfört med de andra regnen med längre varaktighet. Detta ger upphov till att nederbörden inte hinner infiltrera eller rinna bort i samma utsträckning, det skulle kunna ses som att vattennivåerna undersöks precis när de högsta intensiteterna inträffar. Men vattnet kommer med tiden att försvinna, därför testades också ett scenario med en adderad simuleringstid utan nederbörd vilket gav en betydligt lägre total volym vatten. Hur lång den adderade simuleringstiden bör vara kan undersökas närmre men det kan ändå antas att detta scenario ger ett resultat som är mer jämförbart med de andra resultaten. Vatten kommer alltid kunna infiltrera eller försvinna ur analysområdet med hjälp av ytavrinning, därför är det viktigt att motivera regnets varaktighet och om simuleringstid adderas efter det slutat regna. Svenskt Vatten (2011) rekommenderar i sin metodik att varaktigheten välj utifrån rinntid plus en säkerhetsmarginal men definierar inte hur stor denna säkerhetsmarginal bör vara. Det som kan ses i detta arbete är att om rinntiden är mycket liten kan det vara svårt att skapa ett CDS-regn då det tenderar att mista sin karakteristiska form det vill säga den avtagande effekt som åter ses i slutet av regnet. Teoretiskt sett finns det ingen begränsning på hur litet ett CDS-regn kan vara men det kan vara praktiskt svårt att skapa ett utifrån korta varaktigheter.

Hur varaktighet ska väljas finns det inte ett entydigt svar till då vägledningarna skiljer sig åt. I Svenskt Vatten (2011) publikation P104 nämns att varaktigheten ska väljas utifrån rinntid i området plus en säkerhetsmarginal men som skrivet ovan nämns inte dess storlek, istället anges 4 h som ett lämpligt standardvärde (Svenskt Vatten 2011). Att både 4 (Svenskt Vatten 2011) och 6 h (MSB 2017) anges som bra standardvärden bygger på erfarenhet som säger att de flesta avrinningsområden inte har en rinntid som är längre och därmed innefattar dessa standardvärden den största merparten av om-

råden. Är det uppenbart att rinntiden fram till analysområdet är längre än 6 h bör regnets varaktighet öka så att det med marginal täcker rinntiden (Gustafsson 2019). Men det visas i resultatet att det blir en tämligen stor skillnad i vattendjup om 4 eller 6 h väljs, i område 1 kan det skilja sig flera decimeter vid de maximala vattendjupen. Likaså blir det en skillnad i vattenvolym då ett längre CDS-regn ger upphov till större volym vatten.

Som tidigare nämnt ligger skyfallskarteringar ofta till grund för samhällsplanering och beredskapsplanering, där kan olika val av varaktighet ge konsekvenser även vid det efterföljande arbetet. Resultatet visar att olika val av varaktighet kan ge stora skillnader i översvämningsutbredning, vattendjup och totala volymer. Detta kan i sin tur ge stora skillnader i åtgärdsplaneringen beroende på vilken varaktighet som väljs och det finns risk att nederbörden vid ett skyfall ger upphov till större översvämnningar än väntat, något som kan bli kostsamt. Likaså finns en risk att resultatet visar mycket stora volymer vatten om varaktigheten väljs alldeles för lång sett till sitt avrinningsområde. Detta kan leda till att de skyfallsåtgärder som dimensioneras blir onödigt kostsamma sett till sin nytta. Att utföra och analysera skyfallskarteringar är inte ett helt lätt arbete då det finns många osäkerheter och det finns risk att resultaten tolkas som sanning trots att underlaget inte beskriver analysområdet helt korrekt. Därför kan tydligare vägledning i arbetet och analyseringen underlätta men också ge ett mer robust resultat. Gustafsson (2019) menar att en standardisering av skyfallskarteringar kan ge positiva effekter till exempel att analyserna blir mer enhetliga över landet och att resultatet inte varierar beroende på utövare. Men det behöver dock inte betyda att analyserna blir bättre. Det kan dock ses en större enhetlighet nu, dels på grund av MSB (2017) Vägledning för skyfallskartering, dels på grund av att samma konsulter har utfört många av kommunernas skyfallsanalyser (Gustafsson, 2019). För att detta ska ske så krävs det att någon myndighet klart och tydligt bestämmer hur skyfallskarteringar bör utformas. En viktig aspekt är att beslutsfattare får klarlagt vad olika beslut och dess konsekvenser innebär och att bedömningar görs i

en tät dialog med ansvariga inom aktuell kommun (Gustafsson, 2019). Men det kan ändå tänka sig att en mer utförlig vägledning med mer underlag och motivering till parameterval kan förenkla arbetet kring skyfallskartering och minska osäkerheterna som finns i analysen idag. Med det sagt behöver inte vägledningen bli helt entydig men det krävs mer motivering och information kring hur de olika parametervalen bör göras. Inget analysområde är det andra likt och därför kan det tänkas att det krävs en tydligare metodik på hur utövaren själv kan resonera för att göra avvägningar, samt ha kunskap om hur valen påverkar resultatet. Å andra sidan sker oftast dessa skyfallsanalyser i urbana miljöer, där analysområdena är mindre och kanske liknar varandra i större utsträckning och där skulle det kunna finnas utrymme för att göra ett mer schablonmässigt underlag. I både IPCC:s rapporter och annan forskning antas klimatförändringar ge kraftigare och mer frekventa skyfall i framtiden, hur stor den förändringen kommer bli är svårt att säga.

Mycket beror på hur och när vi människor kommer ändra våra levnadsmönster och reducera våra utsläpp. Men studier visar att vi bör anpassa oss till klimatförändringar nu och arbeta proaktivt för att förhindra dyra akuta ingrepp i framtiden. För att minska ökande risker för översvämningar i urbana miljöer krävs en förändring av fysisk planering och översvämningspolicy (Zevenbergen et al., 2008). I Sverige har vi som tidigare nämnt förordningen om översvämningsrisker (SFS 2009:956) och MSB:s föreskrifter om riskhanteringsplaner (MSBFS 2013:1) men det finns inga lagkrav på vilket årsregn vi ska använda vid det förebyggande arbetet (Bäckman, 2018). Att använda en klimatkfaktor vid beräkningar är därför mer än nödvändigt, men även här finns inget entydigt svar vad som bör användas. Utifrån litteraturstudie kan det ses ett spann på klimatkfaktorer mellan 1,1–1,5 men hänsyn måste tas till vad som ska dimensioneras och dess livslängd. Ska det som dimensioneras hålla i 100 år är dock mer aktuellt att välja en högre klimatkfaktor enligt både Olsson et al. (2017), MSB (2017), Gustafsson (2019) och Arnbjerg-Nielsen (2012).

Känslighetsanalys

Resultatet ifrån denna känslighetsanalys tyder på att varaktighet är en viktig parameter att undersöka när skyfallskarteringar utförs. Mannings tal och infiltration är likvärdigt viktigt men för det undersökta området gav förändrade värden på dessa en relativ lite skillnad i resultat medan ökad varaktighet gav jämförelsevis stora procentuella skillnader. För att mer säkert kunna säga vilken parameter som ger störst utslag på resultatet och kunna generalisera krävs dock större studier. Val av varaktighet är en viktig faktor men det finns många andra parameterval som också kan påverka resultatet. Eftersom det finns stora osäkerheter vid genomförandet av skyfallskarteringar är det viktigt att skapa modeller som är verklighetstroga. Däremot kan modelltekniska problem då stötas på, vilket kan kräva förändringar av verkligheten.

Osäkerheter

Generellt tillkommer det många osäkerheter vid skyfallskarteringar då det är svårt att inom rimliga tidsramar beskriva verkligheten i en modell. Ofta modelleras analysområden med generella värden på till exempel Mannings tal och infiltrationshastighet istället för platsspecifika. Detta på grund av att det kan vara mycket tidskrävande och kostsamt att göra de gedigna undersökningar som krävs för att få fram platsspecifika värden, speciellt för större områden. Men generella värdet används också för det krävs vissa förändringar i modelleringsarbetet, dels för att göra data mer användarvänligt dels för att minimera tidsåtgången.

Regnet som använts i skyfallskarteringen är ett designat typregn av CDS-typ, vilket har formen av en kort väldigt hög intensitetstopp. I verkligheten är det osannolikt att ett regn med exakt denna karaktär faller över hela avrinningsområdet samtidigt. Som nämnt i tidigare kapitel är skyfall ett lokalt fenomen som oftast sker över ett par kvadratkilometer. Då analysområdena i detta arbete var 8,7 km² respektive 22,7 km² är det föga troligt att ett skyfall belastar hela området på samma gång. I modellerna som skapats har infiltration beskrivits utifrån angivna schablonvärden och kan i verkligheten skilja sig åt. När de har använts i MIKE 21

representerar de endast de översta jordlagren och är därför inte en korrekt beskrivning av verkligheten. Men att ta fram detaljerade värden kräver gedigna undersökningar av området, vilket är både tidskrävande och dyrt.

Validering

Som tidigare nämnt så finns det sällan långa dataserier mer korttidsnederbörd att tillgå då det tidigare bara mäts dygnsvärden. Av den orsaken ger det en stor tveksamhet till att använda 100-, 200- eller 1000-årsregn men det finns inte heller något att jämföra resultaten med om inte kommuner själva har samlat in data med högre upplösning eller på annat sätt dokumenterat översvämningar. I detta fall fanns inget sådant att tillgå, istället har resultatets rimlighet diskuterats, speciellt kring området område 2 där problem med stabiliteten stöttes på. Stabilitet visade sig vara svårt att uppnå och det kunde konstateras att det finns flera svårigheter med att utföra skyfallskarteringar och validera resultat. Trots detta anses resultatet vara rimligt då översvämningutbredning följer flödesvägar och lågpunkter.

Slutsatser

I detta arbete undersöktes hur regnvaraktigheter väljs till de typregn som används inom skyfallskarteringar och om de olika valen kan ge upphov till olika resultat. Slutsatserna som kan dras ifrån arbetet är:

- Nutida vägledning för hur skyfallskarteringar ska utföras ger olika budskap om hur varaktighet på modellregn ska väljas. De rekommendationer som finns idag bygger på att välja en varaktighet som täcker in så många olika typer av områden som möjligt och det anser utifrån lång erfarenhet att 4 eller 6 h är bra standardvärden. Det förmedlas dock att det är viktigt att alltid undersöka rinntiden i avrinningsområdet för att inte välja en för kort varaktighet.
- Beroende på hur utövaren väljer varaktighet på modellregn kommer resultatet att variera. Den totala volymen vatten tenderar i de undersökta områdena att öka med ökad varaktighet, bortsett från det regn med allra kortast varaktighet där si-

muleringen avslutar relativt abrupt med mindre möjlighet för infiltration och ytvavrinning. Olika varaktigheter ger också skillnader i det maximala vattendjupet och översvämningutbredning, där det i båda fallen ökar med ökande varaktighet, något som kan påverka analysen och det efterföljande arbete som har skyfallskarteringar som underlag.

- Ökar varaktigheten ökar den totala volymen vatten mer än om Mannings tal eller infiltrationskapaciteten ändras, i det undersökta området. Detta tyder på att förändringar i varaktighet kan påverka resultatet mer än om Mannings tal eller infiltrationskapacitet ändras.

Referenser

- Achberger, C., Nyberg, L., Persson, G., Rayner, D. & Chen, D. (2015) Nederbörd och översvämningar i framtidens Sverige.
- Arnbjerg-Nielsen, K. (2012) Quantification of climate change effects on extreme precipitation used for high resolution hydrologic design. *Urban Water Journal*, 9(2), pp. 57-65.
- Ashley, R.M., Balmfort, D.J., Saul, A.J. & Blanksby, J.D. (2005) Flooding in the future - Predicting climate change, risks and responses in urban areas. *Water Science and Technology*, 52(5), pp. 265-273.
- Bäckman, H. (2018). Skyfallens ABC. Stadsbyggnad, Volym Nr 2.
- Chow, V.T. (1959) *Open-Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill.
- DHI (2016) MIKE 21 Flow Model & MIKE 21 Flood Screening Tool - Hydrodynamic Module.
- DHI (2017) MIKE 21 Flow Model User Manual.
- DHI, u.d. Mike 21 Flow Model Hints and Recommendations in Applications with Significant flooding and drying.
- Gustafsson, L-G., 2019. Mejllkontakt.
- Haghighatafshar, S., la Cour Jansen, J., Aspegren, H., Lidström, V. Mattson, A. & Jönsson, K. (2014) Storm-water management in Malmö and Copenhagen with regard to Climate Change Scenarios. *VATTEN – Journal of Water Management and Research*, Volym 70, pp. 159-168.
- Hernebring, C., Milotti, S., Steen Kronborg, S., Wolf, T. & Mårtensson, E. (2015) Skyfallet i sydvästra Skåne 2014-08-31: Fokuserat mot konsekvenser och relation till regnstatistik i Malmö. *VATTEN – Journal of Water Management and Research*, 71(2), pp. 85-99.
- Jordbruksverket (2019) Stöd för projekt och samarbeten inom lokalt ledd utveckling.
- Kjellström, E., Abrahamsson, R., Boberg, P., Jernbäcker, Eva., Karlberg, M. & Morel, J. (2014) Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget. SMHI Klimatologi, Volym Nr 9.
- Larsson, R. (2008) Jords egenskaper. Statens geotekniska institut (SGI), Information (5).
- LEADER Mellansjöländet (2017) Utveckling med LEADER-stöd.

- Lerer, S.M., Righetti, F., Rozario, T. & Mikkelsen, P.S. (2017) Integrated hydrological model-based assessment of storm-water management scenarios in Copenhagen's first climate resilient neighbourhood using the three point approach. *Water (Switzerland)*, 9(11).
- Länstyrelsen, S.l. (2018) Rekommendationer för hantering av översvämning till följd av skyfall – stöd i fysisk planering. *Volym Fakta 2018*.
- Marsalek, J. & Watt, W.E. (1984) Design storms for urban drainage design. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 11(3), pp. 574-584.
- MSB (2014) Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet.
- MSB (2017) Högupplösta nederbördsprognoser för hydrologisk riskbedömning.
- MSBFS 2013:1, Föreskrifter om länsstyrelsens planer för hantering av översvämningssrisker (riskhanteringsplaner).
- Naturvårdsverket (2019) Beräkning av avrinningsområden - Naturvårdsverket.
- Olsson, J., Berg, P., Eronn, A., Simonsson, L., Wern, L. & Yang, W. (2017) Extremregn i nuvarande och framtida klimat. *SMHI Klimatologi*, Volym Nr 47.
- Olsson, J. & Josefsson, W. (2015) Skyfallsuppdraget. *SMHI Klimatologi*, Volym Nr 37.
- SFS 2009:956, Förordning om översvämningssrisker. Issue Stockholm: Justitiedepartementet.
- Skilberg, L. (2020) Utredning kring val av varaktighet vid skyfallskarteringar. [Online]
Available at: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1392813/FULLTEXT01.pdf>
- SMHI, u.d. IPCC Nationell kontaktpunkt.
- Svenskt Vatten (2011) Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem. 1 red. Svenskt Vatten AB.
- Svenskt Vatten (2016) Avledning av dag-, drän- och spillvatten. Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem. Del I – Policy och funktionskrav för samhällens avvattning.
- United States Department of Agriculture (1997) *National Engineering Handbook Hydrology*.
- Vägverket (2008) VVMB 310 Hydraulisk dimensionering.
- Zevenbergen, C., Veerbeek, W., Gersonius, B. & Van Herk, S. (2008) Challenges in urban flood management: travelling across spatial and temporal scales. *Journal of Flood Risk Management*, 9 7, 1(2), pp. 81-88.

