



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 20003

Examensarbete 30 hp
Januari 2020

Utredning kring val av varaktighet vid skyfallskarteringar

Lina Skilberg

REFERAT

Utredning kring val av varaktighet vid skyfallskarteringar

Lina Skilberg

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 skyfallscenario 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 varaktighet riskerar resultatet att överskattas eller underskattas beroende på hur regnet väljs.

Syftet med denna studie var därför att utreda hur regn väljs med avseende på varaktighet vid skyfallskarteringar idag men också hur dessa val kan påverka resultaten. I förlängningen syftar också arbetet till att göra skyfallskarteringar mer robusta och användbara. En 2D-hydraulisk modell användes därför för att simulera olika varaktigheter på två olika tätorter, Latorp i Örebro kommun och Tived i Laxå kommun. Varaktigheterna på de använda regnen valdes utifrån vad vägledning och litteratur anser är ansenliga standardvärden samt ett alternativ där varaktigheten valdes utifrån rinntid i respektive avrinningsområde.

Resultatet visar att varaktighet kan i teorin väljas hur stort eller litet som helst men det finns i litteratur flertal rekommenderade värden på varaktighet hos regn vid skyfallskartering. Det valdes att simulera fyra olika varaktigheter: ett scenario med den beräknade rinntiden i respektive avrinningsområde, 3, 4 och 6 timmar. De fyra olika modellerna visar en skillnad i total volym vatten och översvämningsutbredning för båda områdena. För det ena området, Tived, syns en tydlig trend att ökad varaktighet ger ökad volym vatten, upp till 30 % ökning mellan den modell med kortast och den modell med längst varaktighet. Men för det andra området, Latorp, vars modeller hade viss instabilitet kunde inte trenden ses lika tydligt, men översvämningsutbredningen och det maximala vattendjupet ökade. Det kunde dock konstateras att olika rekommendationer kring varaktighet ger en stor skillnad i resultat vid skyfallskarteringar. Detta kan i sin tur påverka de beslut som grundas på resultat från skyfallskarteringar.

Nyckelord: Skyfallskartering, översvämningar, översvämningsmodellering, 2D-hydraulisk modellering, MIKE 21 Flow Model, varaktighet.

Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten och landskapslära, Uppsala universitet, Villavägen 16, SE-75236 Uppsala, Sverige. ISSN 1401-5765

ABSTRACT

Investigation of the choice of rain duration's impact on urban flood mapping

Lina Skilberg

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 year 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 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.

Therefore, the purpose of this study was to investigate how design rains are chosen in urban flood modeling with the main focus on rain duration and how different durations can affect the result. The extension of that is to make flood modeling more reliable and useful. A 2D-hydraulic model was used to simulate different models with different rain duration in two different areas. The length of the rain durations was chosen from the mentioned guidelines and other literature.

The result shows that there are numerous ways to chose rain durations and four of them were simulated, the concentration-time in the investigate areas, three, four and six hours. The different models demonstrate a difference in the result, both in the total volume of water and in the geographic spread of the flood. For one of the investigated areas, there was a clear trend that the volume of water was increasing when the length of the rain duration was increasing. For the other area, the trend was not as clear, the cause for this believed to be the instability in the models caused by too high roughness value or too high timestep. Nonetheless, in both areas the spread of the flood and the maximum water depth increased with increased duration. Based on the result, it was concluded that different recommendations on how to chose rain duration gives differences within the result which could affect the decision taken based on urban flood modeling.

Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Science, Uppsala University, Villavägen 16, SE-75236 Uppsala, Sweden. ISSN 1401-5765.

FÖRORD

Detta examensarbete omfattar 30 hp och avslutar min studietid på Civilingenjörsprogrammet i Miljö- och vattenteknik på Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Arbetet har utförts på Norconsult AB under hösten 2019 med Theo Voulgaridis och Jacob Friman som handledare. Ämnesgranskare var Gabriele Messori, universitetslektor på Luft- vatten- och landskapslära vid Uppsala universitet. Examinator var Monica Mårtensson, universitetsadjunkt vid Institutionen för geovetenskaper på Uppsala Universitet.

Jag vill först och främst tacka mina eminenta handledare Theo Voulgaridis och Jacob Friman på Norconsult som hjälpt till vid skapandet av modellen och som alltid tagit sig tiden för att besvara frågor eller bolla idéer. Ni tillsammans med era kolleger på Norconsult har givit mig ett varmt välkomnande från första dagen. Ett stort tack till Gabriele Messori som varit till stor hjälp under hela examensarbetet. Jag vill också rikta ett tack till Sten Blomgren på DHI som försett mig med studentlicens till programvaran MIKE.

Jag vill avsluta med att tacka familj och vänner för allt er stöd under studietiden och ett extra tack till er som gjort min studietid på Uppsala Universitet oförlömlig!

Copyright © Lina Skilberg, Institutionen för geovetenskaper,
Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.

UPTEC W 20003, ISSN 1401-5765

Digitalt publicerad hos Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala, 2020.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

I dagens samhälle är frågan kring klimatförändringar mer aktuell än någonsin. Det är inte längre en fråga om huruvida klimatförändringar finns eller inte utan vad vi kan göra för att förhindra temperaturen i atmosfären att stiga ytterligare men också hur vi ska anpassa oss till det framtida klimatet. Med en förhöjd medeltemperatur kommer det inte enbart att bli ett varmare klimat utan också kraftigare och mer frekventa skyfall då varmare luft kan bära mer vattenånga. Samtidigt flyttar allt fler människor in till våra städer vilket gör att städerna förtätas och det blir mindre grönytor som kan ta hand om överskottsvatten. I urbana miljöer där en stor del av markytan är hårdgjord finns det redan idag en problematik med översvämningar. Detta i kombination med klimatförändringar skapar en större risk för översvämningar än vad vi tidigare har sett. Konsekvenserna av kraftiga skyfall kan dels skapa direkta skador på byggnader eller infrastruktur men det kan också ge upphov till sjukdomspridning, riskera människors liv eller påverka utryckningsvägar. De största samtida skyfallen som skett i nutid i urban miljö i Norden var i Köpenhamn 2011 och i Malmö 2014 som kostade samhället en miljard euro respektive 300 miljoner kronor i skadestånd.

Även om det finns osäkerheter i vilka konsekvenser ett förändrat klimat kommer medföra är de huvudsakliga trenderna tydliga där flera studier betonar fördelarna med att arbeta proaktivt och anpassa samhället till de klimatförändringar som förväntas ske. Ett sätt att förhålla sig till skyfall och översvämningar är att göra en så kallad skyfallskartering både för befintliga samhällen och för nybyggnation. En skyfallskartering är en analys av översvämningens utbredningen vid ett visst förutsatt skyfall och kan visa vilka platser som kommer att bli extra utsatta. Den kan utföras på olika sätt, genom förenklade kartor som visar lågområden eller med mer komplicerad modellering som kan kopplas ihop med modell över ledningsnätet och visa vattendjup, flöde och hastigheter. Detta kan ge oss underlag och ligga till grund för beslut relaterade till nyexploatering, beredskapsplanering och förebyggande åtgärder.

År 2007 antog EU ett översvämningdirektiv med syftet att minska konsekvenserna av översvämningar och det implementerades i Sverige och Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) utsågs till ansvarig myndighet för det skyfallsförebyggande arbetet. Med detta som bakgrund skapades vägledning och rekommendationer både ifrån MSB, Svenskt Vatten och ett flertal länsstyrelser. Detta för att många kommuner redan arbetade med skyfallsfrågor men många ansåg att de också behövde stöd och mer underlag för att ta fram mer robusta och enhetliga skyfallskarteringar. I vägledningen beskrivs metodik för att utföra skyfallsanalyserna, hur olika värden kan ansättas för parameterar i modellen och hur resultatet kan analyseras. Den rekommenderar också att karteringar ska utföras för ett regn med minst 100-års återkomsttid, vilket motsvarar ett regn av den storleken att det statistiskt sett återkommer var hundra år. Dock är inte regnvolym och regnintensitet entydigt för ett 100-årsregn utan det beror också på varaktigheten hos regnet. I de etablerade vägledningarna som finns, men också annan litteratur, återfinns rekommenderade värden på varaktighet men de är sparsamt motiverade. Av denna anledning är det därför intressant att undersöka hur varaktigheten påverkar resultat av en skyfallskartering.

De värden som påträffades under litteraturstudien var 3, 4 och 6 timmars varaktighet samt att beräkna ut hur lång tid det tar som längst för en regndroppe att färdas i det undersökta området och använda denna siffra. Detta kunde sedan användas för att modellera skyfall i två olika områden, Tived i Laxå kommun och Latorp i Örebro kommun, för att se om olika varaktigheter på regn gav olika resultat. I modelleringen kunde respektive område läggas in med hjälp av kartor på terräng, markanvändning och jordartstyper och därefter utsättas för de olika regnen. Resultatet visade att för Tived gav en längre varaktighet en större vattenvolym i området och översvämningsutbredning och vattendjup ökade. För Latorp kunde inte samma trend ses lika tydligt, detta berodde troligen på att modellerna för Latorp var instabila vilket var en konsekvens av att tidssteget som användes i modelleringen var för långt. Men skulle tidssteget kortas ned för simuleringarna för Latorp behövdes det mer tid och datakapacitet. Det kunde dock ses att resultat från Latorp skildes signifikant åt beroende på val av varaktighet på regnet. Ökade varaktigheten blev översvämningsutbredningen större och vattendjupet ökade.

Utifrån litteraturstudie och resultat kunde det dras en slutsats att de rekommendationer som finns ger olika resultat vid skyfallskarteringar och det finns en risk att resultatet överskattas eller underskattas. Vilket standardvärde som ger det mest korrekta resultatet är svårt att säga, men det viktigaste tycks ändå vara att undersöka det valda analysområdet och se till att nederbörd som faller längst bort hinner nå utloppet. Att alla skulle använda sig av samma värde på varaktighet skulle inte heller betyda att skyfallskarteringar blir bättre men kanske mer enhetliga. Mer underlag och mer motiverade rekommendationer i den vägledning som finns idag skulle kunna förenkla arbetet kring skyfallskartering och minska osäkerheterna i analysen genom att sprida mer information om hur och varför vissa parameterintervall bör göras.

DEFINITIONER OCH BEGREPP

Blockregn	Definieras som det största medelvärdet som nederbördsintensiteten har över en viss varaktighet.
CDS-regn	Chicago Design Storm (CDS) är ett symmetriskt modellregn som består av flera olika blockregn med varierande regnintensiteter- och varaktigheter för en viss återkomsttid.
Fluvial översvämning	Översvämning skapad av att vattenståndet i en vattentäkt stigit och vatten rinner över flodbanken.
Klimatfaktor	Beskriver den förväntade framtida relativa förändringen i nederbörd för en viss varaktighet och återkomsttid. Genom att multiplicera klimatfaktor med regnintensiteter kan den framtida regnintensiteten uppskattas.
Pluvial översvämning	Lokal översvämning skapad av intensiv nederbörd där regnintensiteten överskrider markens infiltrations- och avrinningsförmåga.
Rinntid (koncentrationstid) t_c	Rinntid är den maximala tiden det tar för ett regn som faller inom avrinningsområdet att rinna till den punkt där dagvattnet från området omhändertas. Ett annat ord för rinntid är koncentrationstid (på engelska time of concentration).
Skyfall	Extrem nederbörd med hög regnintensitet som ofta sker under mycket kort tid och väldigt lokalt. SMHI definierar skyfall som 50 mm nederbörd per timme eller 1 mm per minut.
Återkomsttid	Beskriver det genomsnittliga antal år mellan två händelser av samma magnitud inträffar eller överträffas.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

REFERAT	I
ABSTRACT	II
FÖRORD	III
POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING	IV
DEFINITIONER OCH BEGREPP	VI
1 INLEDNING	1
1.1 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	4
1.2 AVGRÄNSNINGAR	4
2 TEORI	5
2.1 NEDERBÖRD	5
2.2 URBAN HYDROLOGI OCH ÖVERSVÄMNINGAR	6
2.3 URBAN MODELLERING AV SKYFALL	7
2.3.1 Kartering av lågpunkter	7
2.3.2 Kartering av markavrinning - 2D hydraulisk beräkning	7
2.3.3 Kartering av ledningsnät och flödesvägar på markytan - 1D-1D modellering	8
2.3.4 Kartering av ledningsnät och markavrinning - 1D-2D modellering	8
2.3.5 Val av modellregn	8
2.3.6 Klimatfaktorer	11
2.3.7 Val av modellområde	12
2.4 SAMMANFATTNING REKOMMENDATIONER SKYFALLSKARTERING	12
3 MATERIAL OCH METODER	14
3.1 OMRÅDESBESKRIVNING	14
3.1.1 Tived	14
3.1.2 Latorp	14
3.2 INLÄSNING AV DATA	15
3.3 FRAMTAGNING AV AVRINNINGSSOMRÅDE OCH RINNTID	15
3.4 MIKE 21 FLOW MODEL	16
3.4.1 Batymetri	16
3.4.2 Simuleringstid	17
3.4.3 Modellgränser	17
3.4.4 Tillflöden och utflöden	18
3.4.5 Flood and Dry	18
3.4.6 Nederbörd	18
3.4.7 Markens råhet	18

3.4.8	Infiltration	19
3.4.9	Modelluppsättning	20
3.5	STATISTISKA TESTER	22
3.5.1	Kolmogorov-Smirnov	22
3.5.2	Wilcoxon rangsummetest	22
3.5.3	Boxplot	23
3.6	KÄNSLIGHETSANALYS	23
4	RESULTAT	25
4.1	AVRINNINGSOMRÅDE OCH RINNTID	25
4.2	TIVED	25
4.2.1	Översvänningsutbredning	25
4.2.2	Totala vattenvolymer	26
4.2.3	Kolmogorov-Smirnov och Wilcoxon rangsummetest	27
4.2.4	Courant nummer	28
4.3	LATORP	28
4.3.1	Översvänningsutbredning	28
4.3.2	Totala vattenvolymer	29
4.3.3	Kolmogorov-Smirnov och Wilcoxon rangsummetest	31
4.3.4	Courant nummer	31
4.4	KÄNSLIGHETSANALYS	31
5	DISKUSSION	33
5.1	AVRINNINGSOMRÅDE OCH RINNTID	33
5.2	RESULTAT SKYFALLSKARTERINGAR	34
5.2.1	Tived	34
5.2.2	Latorp	34
5.3	VARAKTIGHETENS PÅVERKAN PÅ VATTENVOLYM, VATTENDJUP OCH ÖVERSVÄMNINGSUTBREDNING	35
5.4	KÄNSLIGHETSANALYS	37
5.5	OSÄKERHETER	37
5.5.1	Data	38
5.5.2	Validering	38
6	SLUTSATSER	39
	REFERENSER	40
7	BILAGA	44
A	ÖVERSVÄMNINGSKARTOR	44
A.1	Tived	44
A.2	Latorp	50

1 INLEDNING

Skyfall, som beskrivs som extrem nederbörd med hög regintensitet, 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 försvåras översvämningsproblematiken (Ashley m.fl. 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, något skyfallskartering kan ligga till grund för (Hernebring m.fl. 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 m.fl. 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 m.fl. 2015). Resterande delar av Malmö drabbades av regn med återkomsttider större än 100 år och den största regnvolymen som uppmättes var mer än 120 mm. Grannkommunen Vellinge drabbades dock något hårdare då den uppmätta regnvolymen översteg 140 mm (Svenskt Vatten 2016). Enligt Svensk Försäkring uppgick de totala skadeståndskostnaderna till över 300 miljoner svenska kronor (Hernebring m.fl. 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 m.fl. 2014). De klimatmodeller som används idag är sammanställda av IPCC - Intergovernmental Panel of Climate Change, FN:s klimatpanel. De sammanställer det vetenskapliga kunskapsläget kring framtida klimatförändringar med underlag från tusentals forskare. De olika scenarierna sammanställdes senast 2014 av IPCC:s femte arbetsgrupp och arbetet med en sjätte rapport är under framtagande (SMHI u.å.).

IPCC presenterade i sitt senaste arbete fyra olika klimatscenarier, 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 stabiliseringsscenarier (RCP4.5 och RCP6.0), vilket betyder att strålningsdrivningen beräknas stabiliseras till 2100 respektive 2150. Det ska dock tilläggas att vid dessa stabiliseringsscenarier 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 m.fl. 2014).

Med hjälp av olika framtida globala klimatscenarier görs beräkningar av hur extremnederbörden kan förändras i framtiden. För att använda den informationen skalas de globala klimatmodellerna ned till regionala klimatmodeller med hänsyn till cirkulationsmönster. Dessa tar mer hänsyn till regionala förhållanden (Arnbjerg-Nielsen 2012). Skyfallen i Sverige predikteras att bli mycket kraftigare då en varmare atmosfär kan hålla mer vattenånga. Sett till historisk 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 m.fl. 2015; Olsson m.fl. 2017). Däremot kan det konstateras att i och med klimatförändringarna förväntas skyfallen öka mellan 10-40 % beroende på klimatscenario och vilken region som undersöks (Olsson m.fl. 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 översvämningshot 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 översvämningdirektivet 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). I detta arbete kommer två sådana skyfallsanalyser att utföras 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. Inom EU finns ett program som delar ut projektstöd för att främja lokalt ledd utveckling och stärka landsbygdens ekonomi - Leader. Alla organisationer, föreningar eller företag kan få bidrag för att främja utveckling i sitt så kallade Leaderområde. Projekten ska vara till nytta för många människor i området eller enskilda företag och ska ge förutsättningar för landsbygdens attraktivitet, boendemiljö eller företagsutveckling (Jordbruksverket 2019). Detta innebär att stöd kan sökas för ökad klimattålighet genom att till exempel undersöka vad som händer i bygden vid kraftiga regn. Ett Leaderområde är Mellansjöländet, där Tived och Latorp ingår, vilket består av skogs- och lantbruksbygderna mellan sjöarna Hjälmaran, Väneren och Vättern. De har fått stöd för att utföra skyfallskarteringar på ett antal tätorter (LEADER Mellansjöländet 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 skyfallfrågor 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, parameterintervall, 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.

1.1 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Syftet med examensarbetet är att identifiera någon eller några principer för val av regnvaraktighet vid skyfallskarteringar i Sverige då nuvarande vägledning inte ger entydiga rekommendationer eller motivering. Arbetet syftar också till att undersöka hur olika val av varaktighet kan påverka resultatet med fokus på vattenvolym, utbredning och djup. Detta görs för att i förlängningen göra skyfallskarteringar mer robusta och användbara.

De frågeställningar som ska besvaras för att uppnå syftet är:

1. Hur väljs modellregn med avseende på varaktighet i skyfallskarteringar i Sverige idag?
2. Hur kan olika val av varaktighet påverka resultatet med avseende på översvämningsutbredning, vattendjup och totala volymer i en skyfallskartering?

1.2 AVGRÄNSNINGAR

- Arbetet fokuserar endast på hur val av varaktighet påverkar resultatet i en skyfallskartering. Det finns många andra faktorer som påverkar modellen och det resultat modellen ger upphov till men dessa har valts att sättas till litteraturvärden.
- För att rymma arbetet inom givna tidsramar har två områden studerats för att besvara frågeställningarna.
- Analysområden i arbetet är mindre tätorter med relativt liten andel hårdgjorda ytor. Skyfallskarteringar genomförs oftare i mer urbana områden med stor andel hårdgjorda ytor, något som kan tänkas påverka resultatet ytterligare. I de undersökta analysområdena fanns ingen dagvattenhantering vilket ledde till att utformningen av avdrag för dagvattennät endast diskuteras kortfattat.
- Eventuella risker för spridning av föroreningar eller reningsmöjligheter kommer inte tas hänsyn till.

2 TEORI

2.1 NEDERBÖRD

Nederbördsbildning är en komplex process som nästintill alltid är förknippad med att fuktig luft stiger vertikalt och kyls av (Dahlström 2010). Den typen av nederbörd som oftast ger upphov till skurar med mycket nederbörd under kort tid kallas för konvektiv nederbörd. En kraftig konvektion som uppstår vid varma markytor och fuktiga luftmassor kan ge upphov till nederbörd som blir så kraftigt att det klassas som ett skyfall (Olsson m.fl. 2017). Konvektiva processer sker väldigt lokalt, ofta på skalor om ett par kvadratkilometer (Salomonsson m.fl. 2017). Det har konstaterats att konvektiv nederbörd anses vara mer känslig för temperaturförändringar än stratiform nederbörd som har en relativt låg nederbördskapacitet. Stratiform nederbörd bildas främst vid fronter där kalla och varma luftmassor möts och den varma luften hävs (Berg, Moseley & Haerter 2013). Intensiteten hos extrem nederbörd ökar avsevärt med högre temperatur, detta beror på att luftens kapacitet att bära vattenånga ökar med lufttemperaturen enligt den så kallade Clausius-Clapeyron-ekvationen. Denna ekvation beskriver att för varje gradökning (Celsius) i lufttemperatur beräknas andelen vattenånga öka med 7 % (Winterbone & Turan 2015).

Skyfall förekommer i Sverige oftare under sommartid, detta har redovisats av Hernebring (2006) genom statistik från 15 svenska orter som tillsammans omfattar 14 000 regntillfällen. Regnen sommartid är generellt mer intensiva och frekventa då 83 % av de största 10-minutersintensiteterna registrerades under månaderna juni-augusti (Hernebring 2006). Förutsättningar för skyfall är också bättre i södra Sverige då fuktiga och varma kontinentala luftmassor drar in över land. Denna värmepotential finns inte i luftmassor ifrån Norska havet och över fjällkedjan, däremot kan varma men torra luftmassor ifrån Ryssland och Finland ta upp fukt från Östersjön på deras väg västerut och skapa förutsättningar för skyfall. Extrem korttidsnederbörd kan studeras på regional skala i Sverige, (upp till maximalt 12 timmar) då skyfallsstatistik från SMHI's automatstationer visar geografiska skillnader. Detta faller sig naturligt då varmare och fuktigare luftmassor är vanligare i söder än i norr, vilket medför ökade förutsättningar för skyfall. Med denna kännedom borde det bildas kraftigare skyfall i södra Sverige, men det är också viktigt att betona att skyfall kan ske i hela landet (Olsson m.fl. 2017). Nederbörd anges ofta i enheten millimeter och beskriver hur stor volym vatten som fallit per ytenhet. Det vill säga om det regnar 1 mm innebär detta att regnvattnet bildar 1 mm tjockt skikt på markytan. En mm nederbörd kan konverteras till 1 liter per kvadratmeter (SMHI 2018).

I Salomonsson m.fl. (2017) definieras skyfall som nederbörd som är större än vad ledningsnätet är dimensionerat för. SMHI har däremot under en lång tid, som tidigare nämnt, definierat skyfall som ett regn med minst 50 mm på en timme eller minst 1 mm under en minut (Olsson & Josefsson 2015). Med dagens regnstatistik motsvarar detta ungefär ett 80-årsregn (MSB 2014). Denna definition är dock inte anpassad till dagens dagvattenavrinning i urbana miljöer där konsekvenserna i stor utsträckning beror av varaktigheten. Därför kan det vara lämpligt att beskriva ett skyfall med dess återkomsttid och varaktighet (Bäckman 2018).

Återkomsttid anger det genomsnittliga antal år mellan två hydrologiska händelser av samma magnitud som inträffar eller överträffas. Begreppet återkomsttid är centralt för skyfall då det kan översättas till en viss risk eller säkerhetsnivå för att en viss händelse ska inträffa. Ett regn med en viss återkomsttid kan således beskrivas på olika sätt då 30 mm som faller under 10 minuter är ett 100-årsregn, men fördelas det under 20 minuter blir återkomsttiden 50 år. Återkomsttiderna bestäms utifrån statistiska analyser av historisk mätdata och baseras på Dahlström (2010) ekvation (ekvation 1) (Svenskt Vatten 2016). Denna ekvation är rekommenderad för svenska förhållanden och för regnvaraktigheter upp till ett dygn. I vissa fall kan den aktuella orten ha en egen regnstatistik och då bör denna användas istället (Svenskt Vatten 2011).

$$i_T = 190 \cdot \sqrt[3]{T} \cdot \frac{\ln(T_R)}{T_R^{0.98}} + 2 \quad (1)$$

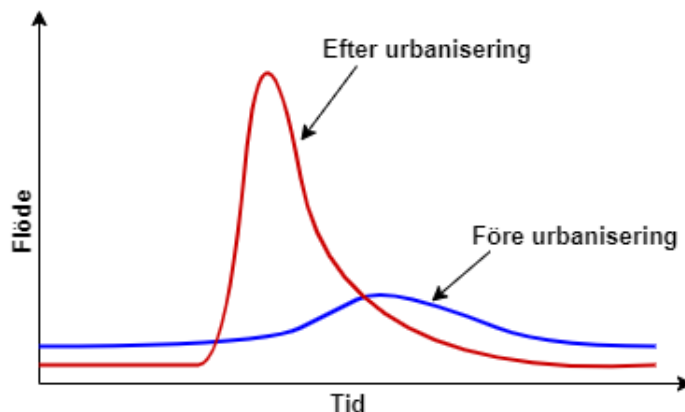
Där i_T är regnintensitet i l/s ha, T är återkomsttid i månader och T_R beskriver regnvaraktighet i minuter. Generellt bör dock dataserien och simuleringstiden vara minst dubbelt så lång som den valda återkomsttiden, det vill säga för ett 100-årsregn bör dataserien vara 200 år (Svenskt Vatten 2011).

2.2 URBAN HYDROLOGI OCH ÖVERSVÄMNINGAR

År 2007 kunde det konstateras att hälften av världens befolkning bor i städer till följd av en ökad urbanisering, en trend som antas att fortgå. En konsekvens av den snabba urbaniseringen är en ökad känslighet mot översvämningar på grund av förtätningar. Många urbaniserade områden ligger nära vattendrag, sjöar eller hav vilket kan medföra att det finns risker även för fluviala översvämningar. Detta i kombination med ett förändrat klimat som kan ge kraftigare och mer frekventa skyfall tros leda till ökade konsekvenser av översvämningar än tidigare (Zevenbergen m.fl. 2008). Högre krav kommer därför behöva ställas för att göra samhället mer översvämningståligt. För befintliga byggnader är de yttre omständigheterna redan satta, som till exempel höjdsättning, därför är det främst för ny bebyggelse som skyfallståligheten kan ökas. Vid ny bebyggelse på naturmark förändras vattenbalansen i område då en ökad urbanisering leder till reducerad markinfiltration, ökad ytavrinning (både i volym och intensitet) samt en sänkning av grundvattennivån. Detta är en konsekvens av att andelen hårdgjorda ytor ökar och permeabla ytor minskar (Svenskt Vatten 2011). När urban hydrologi studeras är det främst nederbörd med kort varaktighet som undersöks, det vill säga från några minuter upp till ett dygn (Salomonsson m.fl. 2017).

Då urbana områden tenderar till att ligga nära sjöar, vattendrag eller hav kan de drabbas av både fluviala och pluviala översvämningar. Fluviala översvämningar inträffar när vattenståndet i ett vattendrag stiger så pass mycket att vattnet strömmar över flodbanken vilket oftast sker vid kraftig regn över en längre tid (Jha, Bloch & Lamond 2012). En översvämning kallas pluvial när nederbördsintensiteten överskrider markens infiltrationsförmåga, det vill säga att den enbart består av markavrinning vid kraftigt regn. Pluviala översvämningar sker oftast sommartid när det är störst risk för skyfall och till skillnad från fluviala översvämningar sker

de oftast under mycket kort tid (Hernebring & Mårtensson 2013). Detta leder till stora vattenansamlingar på markytan och kommer på så sätt bli mest märkbart i områden med stor andel hårdgjorda ytor eller där det finns begränsad kapacitet i dagvattennätet (Olsson & Josefsson 2015). Detta illustreras i figur 1 och visar hur markavrinningen förändras vid urbanisering och förtätning av naturmark. På naturmark sker avrinning med en låg intensitet under längre tid med på en urban mark blir avrinningsförloppet snabbt med höga intensiteter.



Figur 1: Schematisk illustration av hur ytavrinningen påverkas vid urbanisering och förtätning av naturmark. Illustration inspirerad av Fletcher, Andrieu & Hamel (2013).

2.3 URBAN MODELLERING AV SKYFALL

När en skyfallskartering utförs visas vilka ytor som kan översvämmas vid ett givet regn. Från det givna regnet beräknas oftast översvämningsutbredning, vattendjup, ytvattenflöden och flödesvägar. Det finns generellt sett fyra metoder för att utföra en skyfallskartering; kartering av lågpunkter, kartering av markavrinning (tvådimensionell) eller kartering av markavrinning och ledningsnät (tvådimensionell för markavrinningen och endimensionell för ledningsnätet) (MSB 2017). Ytterligare ett alternativ är att skapa en endimensionell modell av både flödesvägar på markytan och för ledningsnätet (Hernebring & Mårtensson 2013).

2.3.1 Kartering av lågpunkter

För att få en första överblick över möjliga översvämningsområden kan en så kallad lågpunktskartering göras. Med hjälp av ArcGIS identifieras lågpunkter i terrängen där alla fördjupningar antas bli vattenfyllda utan hänsyn till markavrinning eller ledningsnät. Resultatet blir en karta som visar vart vatten kan ansamlas, dess utbredning och volym. Eftersom metoden inte går att koppla till någon specifik återkomsttid eller regnvolym rekommenderas den inte som skyfallskarteringsmetod utan bör istället användas för att identifiera problemområden (MSB 2017).

2.3.2 Kartering av markavrinning - 2D hydraulisk beräkning

Med en tvådimensionell hydraulisk modell kan markavrinning i ett område beskrivas fysikaliskt korrekt och fördjupningar i marken fylls upp med vatten från ovanliggande områden.

Översvämningsutbredning, ytvattenflöden och vattendjup beräknas. Infiltrationen beskrivs dynamiskt och hänsyn tas till ledningsnätets kapacitet genom ett schablonmässigt avdrag ifrån det studerade regnet. Ofta ett avdrag lika stort som ett 10-årsregn för att ledningsnäten i Sverige idag ska dimensioneras efter minst detta. Denna metod är bäst lämpad för återkomsttider på mer än 100 år, detta på grund av att ju närmre det dimensionerade regnet ligger ledningsnätets kapacitet, desto större osäkerheter. Det finns också osäkerheter kring ledningsnätets avdrag, görs detta felaktigt kan översvämningen underskattas eller överskattas. Resultatet ifrån en tvådimensionell hydraulisk modellering kan användas till konsekvensanalyser, beredskapsplanering, åtgärdsplanering och strukturplaner (MSB 2017).

2.3.3 Kartering av ledningsnät och flödesvägar på markytan - 1D-1D modellering

Denna typ av metod kopplar en endimensionell modell som beskriver flödesvägar på markytan med en endimensionell modell av ledningsnätet. Då erhålls en mer detaljerad beskrivning av ledningsnätet och fångar dynamiken i dess kapacitet. Koppling mellan modellerna sker oftast genom brunnar. Det krävs goda modelleringskunskaper och mycket data/information för att sätta upp 1D-modellen för ledningsnätet (Hernebring & Mårtensson 2013). Denna metod kan liksom 2D-modellen användas till konsekvensanalyser, beredskapsplanering, åtgärdsplanering och strukturplaner (MSB 2017).

2.3.4 Kartering av ledningsnät och markavrinning - 1D-2D modellering

En tvådimensionell hydraulisk modell med markavrinning kan istället för det schablonmässiga avdraget kompletteras med en koppling till endimensionell hydraulisk modell av ledningsnätet. Till skillnad från 1D-1D modellen kan vattnet strömma fritt på markytan efter topografi. Det finns inga tekniska begränsningar i användandet av en kopplad modell men det kräver att utövaren har goda modelleringsegenskaper. Denna metod lämpar sig för mer detaljerade studier och kan liksom 2D-modellen och 1D-1D-modellen användas till konsekvensanalyser, beredskapsplanering, åtgärdsplanering och strukturplaner (MSB 2017).

2.3.5 Val av modellregn

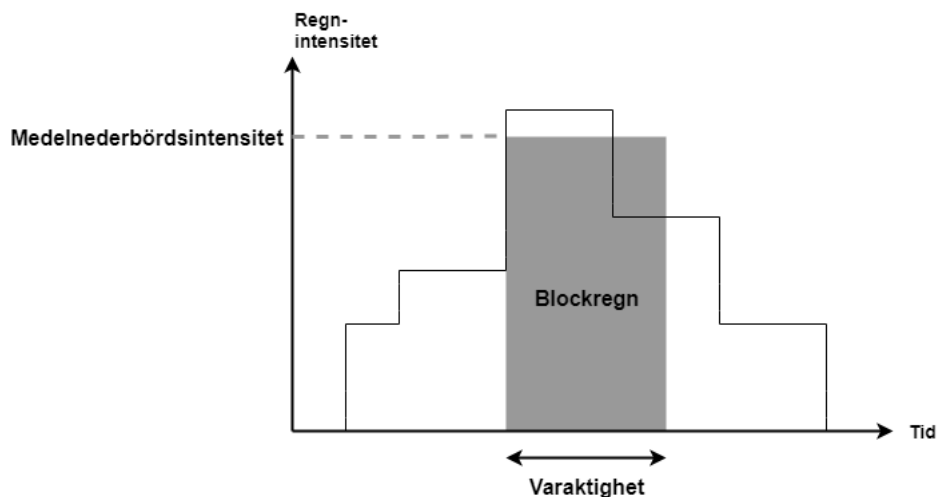
Rekommendationen från tillgänglig vägledning förespråkar att regn med återkomsttid på 100 år eller mer väljs, speciellt vid användning av en förenklad 2D-modell eftersom regnet med god marginal måste överstiga ledningssystemets kapacitet (MSB 2014; Länsstyrelsen 2018). Enligt MSB (2017) *Vägledning för skyfallskartering* bör två regn studeras med återkomsttider mellan 100-1000 år (tabell 1). Detta utgår ifrån ansvarsförhållande enligt Svenskt Vattens riktlinjer samt vilken sannolikhet på uppkommen skada som ska bedömas. En återkomsttid på 100 år syftar till kommunens ansvarsförhållande för marköversvämning och skador på fastigheter, medan en högre återkomsttid baseras på extremsituationer som har observerats i Skandinavien under modern tid (Gustafsson 2019). Varför just ett 100-årsregn väljs för skyfall kommer från Boverket som i sin tillsynsvägledning för översvämningar anger att ett 100-årsregn är en bra utgångspunkt vid samhällsplanering. Därför rekommenderar Länsstyrelserna i Stockholm och Västra Götaland län att ny bebyggelse ska planeras att klara minst ett 100-årsregn (Länsstyrelsen 2018). Detta trots att det än så länge inte finns några myndighetskrav om vilken säkerhetsnivå som ska undersökas (Bäckman 2018). Med det sagt bör ett

klimatanpassat 100-årsregn studeras som minimum, men finns samhällsviktiga verksamheter i studerat område kan säkerhetsnivån behövas höjas för att öka motståndskraften mot översvämningar. Detta är något som den aktuella kommunen behöver besvara (Gustafsson 2019). Det är viktigt att kartera ett regn med en återkomsttid större än 100 år för att se vilka nya översvämningsområden som tillkommer och vilka områden där situationen förvärras vid ett ännu kraftigare skyfall (Svenskt Vatten 2011).

Det kan dock anses problematiskt att använda stora regn vid modellering då dataserien som återkomsttiden bestäms utifrån bör vara dubbelt så lång (Svenskt Vatten 2011). Då automatstationer, som kunde mäta nederbörd med högre upplösning och därmed särskilja skyfall, inte installerades före 1995 finns det idag inte så långa dataserier (Olsson m.fl. 2017). Däremot finns tidigare data i vissa kommuner, där de har varit drivande att samla in nederbördsdata med hög upplösning något som också ligger till grunden för det statistikunderlag som nu finns för skyfall. Den längsta tidserien för korttidsnederbörd har pågått sedan 1926 och har uppmätts i Göteborg (Salomonsson m.fl. 2017). Då extrem nederbörd har kunnat delats upp i regioner är detta troligtvis inte representativ data för hela landet (Olsson m.fl. 2017)

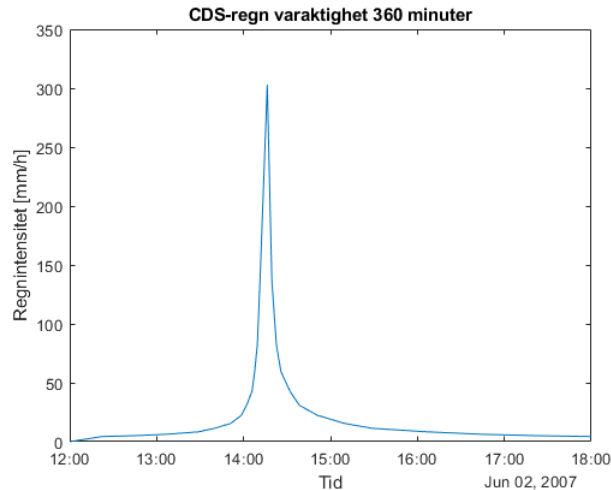
Vid val av varaktighet rekommenderar Arnell (1991) 240 minuter, det vill säga 4 timmar, som ett bra standardvärde. Det är dock viktigt att den totala varaktigheten är minst lika stor som rinntiden inom valt avrinningsområde plus en säkerhetsmarginal (Svenskt Vatten 2011). Viktiga aspekter vid val av varaktighet är rinntid i avrinningsområdet och hur uppmätta skyfall normalt ser ut (utifrån den strikta skyfallsdefinitionen 50 mm per timme). Ett skyfall tenderar inte heller att ha någon längre varaktighet sett till hur de uppstår, det vill säga att konvektiv nederbörd ofta ger upphov till kraftig nederbörd under kort tid. Gustafsson (2019) menar att utifrån lång erfarenhet och bedömning är ett 6-timmarsregn lämpligt för de flesta av områden, viktigt är fortfarande att rinntiden inkluderas i den valda varaktigheten (Gustafsson 2019). Andra aktörer har använt en varaktighet mellan 3-6 timmar, alternativt rinntiden, se avsnitt 2.4 (MSB 2017; Lerer m.fl. 2017; Svenskt Vatten 2011; Marsalek & Watt 1984). Utifrån vald återkomsttid och varaktighet kan regnintensiteten beräknas med hjälp av Dahlström (2010) samband mellan intensitet och varaktighet (Svenskt Vatten 2011).

Sambandet mellan intensitet och varaktighet presenteras oftast i intensitets-varaktighetskurvor och bygger på maximala medelnederbördsintensiteten hos historiska regn, ofta kallat blockregn. Blockregn definieras som det största medelvärdet av nederbördsintensiteten regnet har över en viss varaktighet (figur 2) (Svenskt Vatten 2011).



Figur 2: Illustration som visar konceptet med blockregn, det vill säga maximala medelintensiteten för en given varaktighet under ett nederbördstillfälle.

Det kan användas olika typregn vid skyfallskarteringar, i Sverige används ett symmetriskt typregn, så kallat Chicago Design Storm (CDS), för att dimensionera olika åtgärder. Tekniken för framtagning av regnet är samma som i USA men bygger på svensk regndata (Svenskt Vatten 2011). Ett CDS-regn består av flera olika blockregn med varierande regnintensitet- och varaktighet för en viss återkomsttid (MSB 2017). Fördelen med att använda ett CDS-regn är att regnet statistiskt innehåller flera blockregnsvaraktigheter upp till den valda totala varaktigheten, därav behöver inte två olika 100-årsregn dimensioneras utan de rymms i en körning. Detta begränsar den totala simuleringstiden och resultaten kommer att inrymma den *värsta* situationen. Nackdelen är att det inte går med säkerhet att avgöra vilket statistisk förhållande som regnet representerar i sin helhet på grund av att regnet får en onaturligt spetsig form (Svenskt Vatten 2011). Detta kan ses i figur 3 som skildrar ett CDS-regn med 360 minuters varaktighet. Det går också att se i figur 3 att CDS-regnets intensitetstopp kommer relativt tidigt i händelseförloppet, det bestäms av den så kallade skevhetsfaktorn. Skevhetsfaktorn är det förhållande mellan tidsavståndet från regnets start till intensitetstoppen och CDS-regnets totala varaktighet, den rekommenderas att vara 0,37 (Arnell 1991). En skevhetsfaktor på 0,5 innebär då att intensitetstoppen kommer precis i mitten av regnet (Svenskt Vatten 2011).



Figur 3: Utseendet för ett CDS-regn med varaktigheten 360 minuter

2.3.6 Klimatfaktorer

I och med att dagens klimatmodeller har en relativt grov upplösning medför de att uppskattningar av förändringar i korttidsnederbörd som gjort hittills bör ses som approximativa (Olsson & Josefsson 2015). Trots att nedskalningar har gjorts, typiskt med upplösning mellan 10-15 km, så sker skyfall som tidigare nämnt lokalt på endast ett par kvadratkilometer. För att härleda hur mycket nederbörd som bildats på så små skalor används istället parametrisering för att beskriva effekterna av konvektion. Detta för att konvektiva moln är på för liten skala för att synas i regionala och globala klimatmodeller. Det har visat sig att metoden inte med tillräckligt god noggrannhet beskriver konvektiv nederbörd med tillräcklig precision och därför medför det osäkerheter i modellen. Klimatmodeller med hög upplösning kan beskriva effekten av konvektiva moln utan parametrisering, dessa ger en mer realistisk representation men kräver samtidigt mycket datakapacitet (Helsen m.fl. 2019).

För att få med denna kunskap och kunna ta hänsyn till ett framtida förändrat klimat i skyfallskaracteringar används en så kallad klimatfaktor. Denna faktor beaktar den förväntade relativa förändringen i skyfall med en viss återkomsttid och varaktighet (Olsson & Josefsson 2015). Sett till hela Sverige, medel över alla återkomsttider och alla varaktigheter, så kommer den relativa förändringen mellan 2011-2040 vara 10 %, 2041-2070 15-20 % och 2071-2100 20-40 %, där de lägre siffrorna utgår ifrån RCP4.5 och de högre RCP8.5. Detta tyder på att en klimatfaktor på 1,1-1,4 är rimlig under de studerade klimatscenarioerna (Olsson m.fl. 2017). MSB (2017) rekommenderar att använda en klimatfaktor på 1,2 - 1,5 vilket motsvarar att regnvolymen ökar med 20-50 %. Svenskt Vatten (2016) rekommenderar för nederbörd med kortare varaktighet än en timme en klimatfaktor på minst 1,25 och för regn med längre varaktighet 1,2. I praktiken måste det tas hänsyn till vilken tidshorisont som riskerna värderas, då detta kan anses något tvetydigt tenderas att en klimatfaktor vanligen väljs mitt i, ca 1,3 (Gustafsson 2019).

2.3.7 Val av modellområde

En skyfallskartering bör göras utifrån ett naturligt eller tekniskt avrinningsområde och tidsförloppet för simuleringen bör innefatta rinntiden för hela avrinningsområdet för att garantera att vattnet hinner avrinna genom avrinningsområdet till utloppspunkten (Länstyrelsen 2018). För områden som är större, många tiotal kvadratkilometer, kan beräkningstiden bli onödigt lång (månader) om det också antas en hög upplösning (MSB 2017). MSB (2017) menar att vid detaljerade studier bör upplösningen vara minst 2 meter, därför kan beräkningstiden behövas kortas ned vilket kan uppnås om området delas upp i delavrinningsområden.

Att välja ett modellområde på ett annat sätt än avrinningsområde är generellt svårt om användaren inte besitter gedigen erfarenhet av denna typ av bedömningar. Detta för att säkerställa att problematiken i det studerade analysområdet inte påverkas av de områden som tas bort. Därför är det viktigt att studera ett tydligt avrinningsområde uppströms analysområdet, alltså ett område baserat på ytvattendelare i höjdmodellen (Gustafsson 2019).

2.4 SAMMANFATTNING REKOMMENDATIONER SKYFALLSKARTERING

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.

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

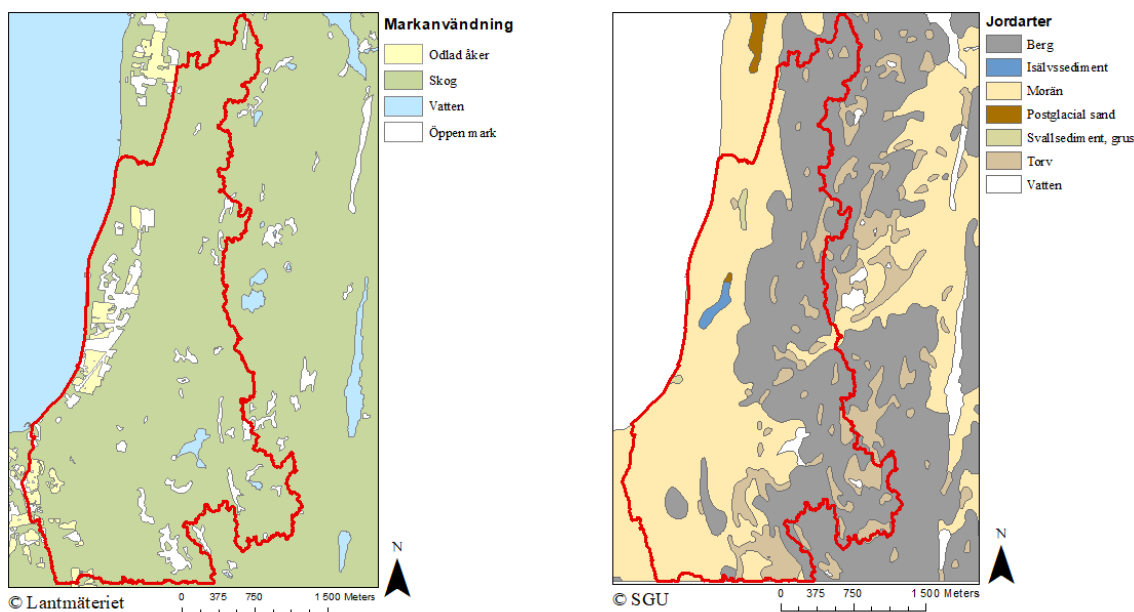
Parameter	Rekommendation
Typregn	CDS (MSB 2017; Länsstyrelsen 2018)
Återkomsttid	100-1000 år. Studera två regn minst ett större (MSB 2017) 100 år, vid samhällsviktig verksamhet kräver större säkerhetsnivå (Länsstyrelsen 2018; Gustafsson 2019)
Varaktighet	6 timmar (MSB 2017) 4 timmar (Lerer m.fl. 2017) 3 timmar eller t_c^* (Marsalek & Watt 1984) t_c + säkerhetsmarginal, standardvärde 4 timmar (Svenskt Vatten 2011) Minst t_c (Länsstyrelsen 2018)
Klimatfaktor	1,2-1,5 (MSB 2017) 1,1-1,4 (Olsson m.fl. 2017) 1,25 vid kortare nederbördstillfälle, 1,2 vid längre (Svenskt Vatten 2016), 1,2-1,4 (Länsstyrelsen 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 (Länsstyrelsen 2018)
Skevhetsfaktor r	0,3-0,48, men 0,37 rekommenderas (Svenskt Vatten 2011)

3 MATERIAL OCH METODER

3.1 OMRÅDESBESKRIVNING

3.1.1 Tived

Tived, beläget i Laxå kommun, består av två områden - Sannerud och Kungsbacken, där Sannerud anses vara centralort och studieområde för denna rapport. I Tived bodde totalt 347 människor år 2018 (Laxå Kommun 2019). Markanvändningen i området utgörs främst av öppen mark med inslag av viss bebyggelse. Centralt är det mycket åker och lövskog medan i området runtomkring finns det mest barr- och blandskog (figur 4). Tived ligger precis vid sjön Unden vilket också är utloppet till det undersökta avrinningsområdet. Området som ska utredas består främst av jordarten morän men också mycket berg och torv. Kring centrala Tived finns också mindre partier med isälvsediment och postglacial sand (figur 4).



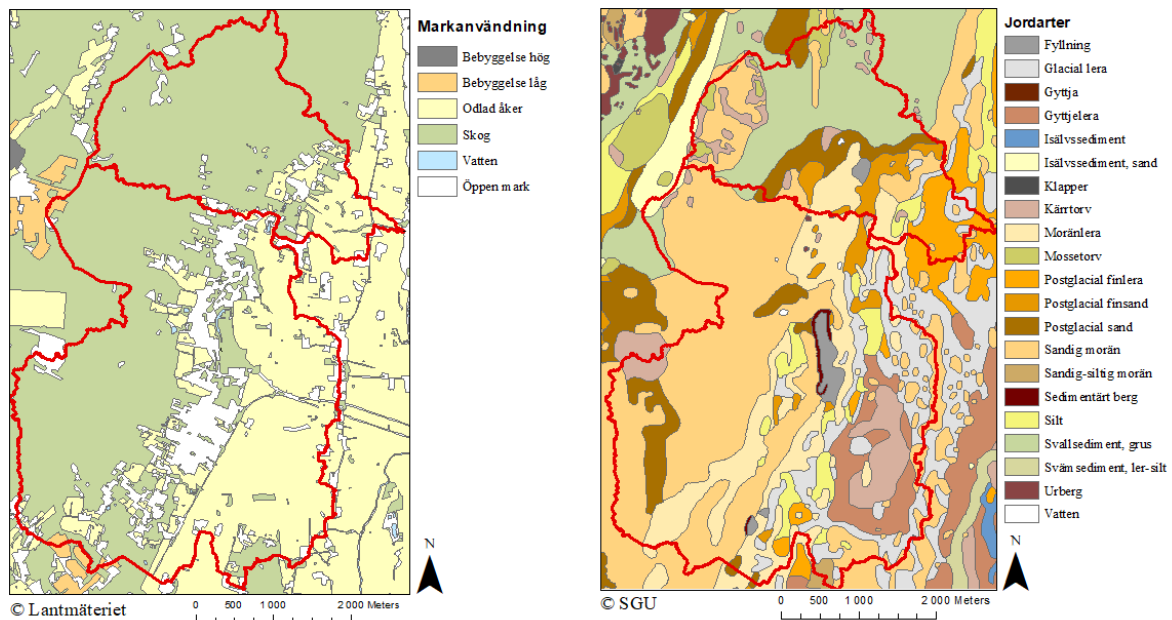
(a) Karta över markanvändningen i Tived, där majoriteten består av skog. ©Lantmäteriets Fastighetshetskarta (b) Jordartskarta över området, där huvuddelen är morän och berg. ©SGU Jordartskarta

Figur 4: Karta över markanvändning (a) och jordarter (b) i Tived. Den röda linjen visar gränsen för analysområdet.

3.1.2 Latorp

Latorp, också kallad Latorpsbruk, är en tätort i Örebro kommun som ligger väster om Örebro nära sjön Tysslingen. Folkmängden uppnådde år 2018 740 personer och tätorten täcker en yta på 1,25 km² (SCB 2019). Analysområdet består av två mindre delavrinningsområden där de centrala delarna av Latorpsbruk ligger i det södra området. Markanvändningen i analysområdet består till större delen av skog men också stora inslag av odlad åker. Gällande jordarterna i området så varierar de mycket, många små inslag av olika typer av postglaciala material,

isälvs sediment, svallsediment och morän. Det större partiet (ljus orange) består av sandig morän (figur 5).



(a) Karta över markanvändningen i Latorp som till (b) Jordarterna i analysområdet, där huvudelen är största delen består av skog. ©Lantmäteriets Fastighetskarta sandig morän men inslag av många andra jordarter finnes med. ©SGU Jordartskarta

Figur 5: Karta över markanvändning (a) och jordarter (b) i Latorp. Den röda linjen visar gränsen för analysområdet.

3.2 INLÄSNING AV DATA

Data kommer ifrån Lantmäteriets kartor, där den digitala höjdmodellen av markytan (DEM) är en GSD-Höjdkarta med en upplösning på 2x2 m och en noggrannhet på 0,5 m. GSD-Fastighetskartan och GSD-Ortfoto användes också, där Fastighetskartan består av ett antal shapefiler bestående av byggnader, vägar och markanvändning. Från SGU hämtades också en karta med information om jordarterna i området. Alla kartor har den nationella kartprojektionen SWEREF99 TM.

3.3 FRAMTAGNING AV AVRINNINGSSOMRÅDE OCH RINNTID

För att ta fram avrinningsområdet användes programvaran ArcGIS. Principen bygger på att utifrån höjdmodell hitta ytans brantaste lutningsriktning för att avgöra åt vilket håll vattnet strömmar. Genom att gruppera alla celler med samma lutningsriktningar kunde avrinningsområdet tas fram.

Höjdmodellen behandlades först med verktygen *Fill* som fyller upp lokala sänkor. Därefter skapades ett raster med verktyget *Flow direction* som beskriver i vilken riktning vattnet flödar i varje cell. För att kunna ta fram ett avrinningsområde för en specifik utloppspunkt måste

vattnets flödesbana sammanfalla med en rasterfil med flödesriktningarna. Flödesbanan tas därför fram med verktyget *Flow accumulation* genom en rasterfil som beskriver hur många uppströms-celler som bidrar till flödet i varje cell. Därefter placeras utloppspunkter manuellt genom att skapa en point-shapefil. För att säkerställa att utloppspunkterna sammanfaller med de ackumulerande flödet används *Snap pour point* och till sist skapas avrinningsområdet med verktyget *Watershed*.

För att uppskatta rinntiden i avrinningsområdet krävs kunskap om dess topografi och markanvändning. Först undersöks flödesvägarna i området för att hitta den längsta rinnsträckan från utloppet, också topografin granskades genom verktyget *3D analyst* i ArcGIS för att säkerställa att vattnet rann i rätt riktning. Därefter mättes sträcka och lutning från den avlägsnaste punkten i avrinningsområdet till utloppspunkten i ett flertal delsträckor. Utifrån fastighetskartan, ortofotot och tabell 2 gjordes en bedömning av Mannings tal för varje uppmätt delsträcka. Detta förklaras närmre i avsnitt 3.4.7 och de värden som användes i områdena sammanfattas i tabell 5. För att beräkna rinntid över ett markområde med olika typer av markanvändning används ekvation 2 där rinntiden beräknas för varje delsträcka och sedan summeras.

$$T = \frac{107 \cdot L^{0.33}}{M \cdot S^{0.2}} \quad (2)$$

Där T är rinntiden i sekunder, L är rinnsträcka i m, S är dess lutning och M är Mannings tal (Vägverket 2008).

3.4 MIKE 21 FLOW MODEL

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).

Avsnitt nedan beskriver kortfattat de viktigaste inställningarna och parametrarna för en modelluppställning i MIKE 21 Flow Model.

3.4.1 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). För att beskriva detta krävs kartunderlag i form av en terrängmodell skapad utifrån till exempel Lantmäteriets GSD-Höjdkarta och GSD-Fastighetskarta. Terrängmodellen i detta arbete skapades i ArcGIS men behövdes bearbetas ytterligare för att representera byggnader och flödesvägar på ett mer verklighetstroget sätt. Byggnaderna höjdes upp ur terrängen för att undvika risken att vatten flödar över dem. Celler bestående av broar eller vägar med kulvertar och trummor utan

dimensioner sänktes för att representera flödesvägar på ett korrekt sätt. Detta för att inte få översvämningar i modellen där vatten kan flöda i verkligheten. Ifall dimensioner hade funnits på trummor och kulvertar kunde de ha lagts in manuellt i MIKE 21. Kartunderlaget visade endast vägar som linjer och de gjordes bredare i ArcGIS för att bättre representera verkligheten.

Modellen beskrivs genom ett rektangulärt rutnät och val av upplösning är den mest centrala delen för att få en stabil modell, vilket kan undersökas mer med Courant numret, se avsnitt 3.4.2. Tillgängligheten på höjddata styr delvis valet av numerisk upplösning men det är en förutsättning att ha tillräcklig bra upplösning för att kunna beskriva hus och vägar på ett tillfredsställande sätt för att få ett tillförlitligt resultat (MSB 2014). Som beskrivet i tabell 1 rekommenderas en upplösning mellan 1-5 m och gärna en högre upplösning vid detaljerade studier. Med en grövre upplösning missas mindre svackor och översvämningens utbredningen ”smetas ut” vilket resulterar i mindre vattendjup. Att öka upplösningen för mycket ger dock en längre beräkningstid (MSB 2014).

3.4.2 Simuleringstid

Simuleringstiden väljs utifrån vald varaktighet medan tidssteget måste väljas så pass litet att modellen förblir stabil. Stabiliteten hos modellen är relaterat till Courant numret (C_R) och definieras genom

$$C_R = U_{max} \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (3)$$

där Δt är tidssteget (s), Δx är upplösningen (m) och U_{max} är maximala flödes hastigheten (m/s). Courant numret beskriver hur många rutor i rutnätet som information flödar igenom under ett tidssteg. MIKE 21 kan normalt hantera Courant nummer upp till 5 men det rekommenderas att inte överskrida 1. Stabiliteten är därför viktig att ta hänsyn till när tidssteget väljs (DHI 2016). Givet ett önskat Courant nummer och upplösning kan därför ett maximalt tidssteg beräknas fram genom

$$\Delta t_{max} = \Delta x \frac{C_R}{U_{max}} \quad (4)$$

där terminologin är densamma som ekvation 3.

3.4.3 Modellgränser

I MIKE 21 finns det möjligheter att sätta yttre gränser till analysområdet, så kallade randvillkor, antingen som ett in/utflöde eller en vattennivå. Dessa gränser finnes automatiskt av programvaran utifrån terrängmodell men värdet måste ansättas manuellt. Villkor gällande gränser måste specificeras om modelleringsområdet innehåller öppna gränser det vill säga om det har ett flöde som rinner ut eller in i modellen (DHI 2017). Det skulle till exempel kunna vara ett inlopp eller utlopp till ett vattendrag där villkoren specificeras som en viss nivå eller ett flöde. MIKE 21 kan också hantera stängda gränser utan några flöden ut eller in i modelleringsområdet. Detta kan uppnås genom att tilldela celler kring modellområde med så kallade *True Land Values*, det är värden som anges som en gräns för vilka höjder som ska räknas med i simuleringen, för att stänga modelleringsområdet. Att skapa ett stängt model-

leringsområde kan framkalla problem med ett artificiell omvänt flöde vid modellgränserna (DHI u.å.)

3.4.4 Tillflöden och utflöden

Det finns också möjlighet att ansätta flöden ut och in i modellen genom att markera berörd cell och ansätta magnitud på flödet angett i m^3/s .

3.4.5 Flood and Dry

I MIKE 21 kan det definieras vid vilken vattennivå en beräkningscell anses vara översvämmad genom att ansätta så kallade Flood and Dry-värden. Är vattennivån under detta värde anses cellen vara torr och exkluderas ur beräkningarna. För beräkningar av urbana översvämningar rekommenderas Flooding depth att väljas mellan 0,002-0,05 m och Drying depth mellan 0,001-0,02 m, viktigt är dock att Flooding depth är större än Drying depth. Olika värdesintervall på Flooding och Drying depth väljs för att minimera instabilitet i modellen om vattennivån skulle ändras väldigt snabbt (DHI 2017).

3.4.6 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) (ekvation 1), och multipliceras därefter med klimatfaktorn. Dessa intensiteter ska sedan multipliceras med blockregnsvaraktigheten för att få fram blockregnsvolymen [mm]. Differensen [mm] mellan de olika blockregnsvolymerna beräknades för att användas vid skapandet av regnfilerna.

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 modeller var 5 minuter det kortaste blockregnsintervallet (maxintensitet), då inträffar tidsintervallet med högst intensitet $r \cdot 5$ minuter innan och slutar 5 minuter efter den tidpunkt som precis beräknades fram. Alla värden innan maxintensiteten läggs in på detta sätt, $r \cdot$ blockregnsvaraktighet och alla värden efter maxintensiteten läggs in som $(1 - r) \cdot$ blockregnsvaraktigheten. För varje tidssteg beräknas nederbördsintensiteten genom att multiplicera differensen med skevhetsfaktorn och därefter dividera med antal minuter tidssteget varar för att få en intensitet. 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.

3.4.7 Markens råhet

Flödesmotståndet påverkas av markens råhet vilket i sin tur påverkar flödes hastigheten och hur stor översvämning utbredningen 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 flödesmotsånd och motverkar översvämning utbredningen (MSB 2014). Enligt MSB (2014) så är ett Mannings tal på 50 represen-

tativt 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 marktyper (tabell 2) (Vägverket 2008).

Tabell 2: Mannings tal för olika marktyper (Vägverket 2008), *(Chow 1959).

Markyta	Mannings tal [$m^{1/3}/s$]
Slät asfalt	75-85
Grov asfalt	70-75
Grusyta	40-50
Kort gräs	30-35
Långt gräs	25-35
Odlad åker	25-33*
Skog	7-25*
Vatten	10-33*

3.4.8 Infiltration

För de ytor som är genomsläppliga, ej hårdgjorda, kan infiltrationen spela stor roll. Infiltration är ett mått på hur snabbt vatten kan transporteras från markytan till den omättade zonen och anges oftast i enheten m/s. Hos hårdgjorda ytor kan således infiltrationen antas vara noll men hos andra material varierar den kraftigt. Friktionsmaterial såsom sand och grus antas ha en mycket god infiltrationskapacitet medan täta jordlager som lera har en begränsad förmåga att infiltrera vatten. En låg infiltrationsförmåga ger upphov till mer ytavrinning oavsett om marken är blöt eller torr sedan innan. Skyfall inträffar främst under sommarmånaderna då grundvattennivåerna i marken är låga, detta gör att det kan finnas mer magasineringsskapacitet än vanligt i de jordlagren närmst ytan. Men trots att det finns magasineringsskapacitet kan markens infiltrationskapacitet snabbt överspelas av regnintensiteten vid skyfall (MSB 2017). De värden som användes presenteras i tabell 3 och tillhandahölls av Norconsult men användes med stöd ifrån Larsson (2008).

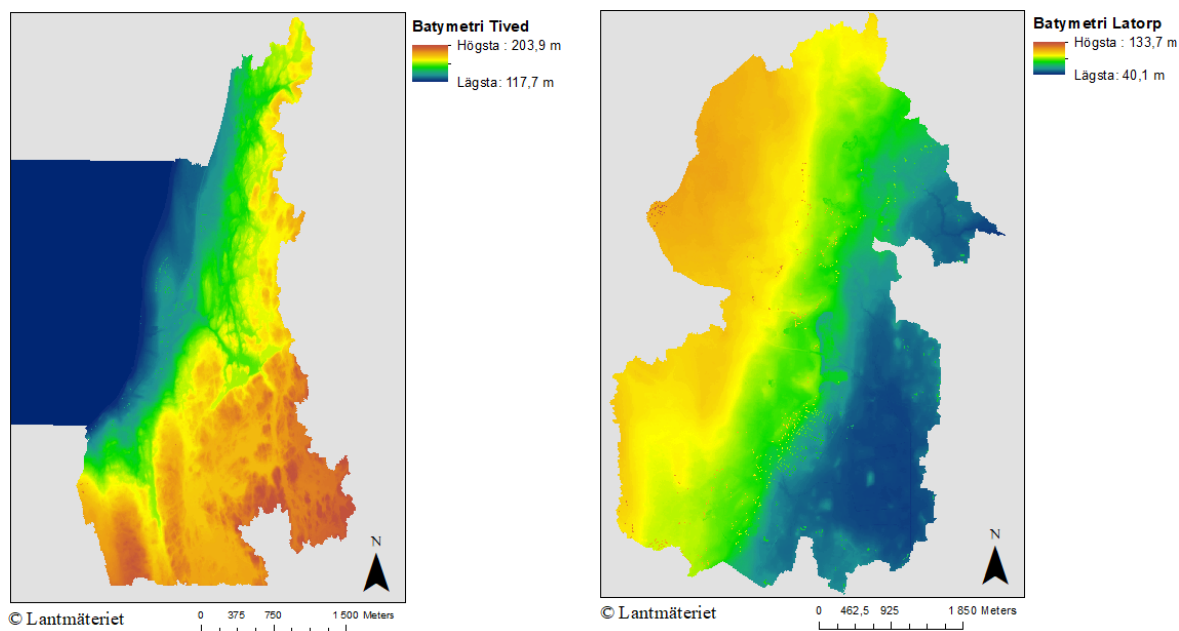
Tabell 3: Använda värden för infiltration över olika marktyper i avrinningsområdet (Larsson 2008).

Markyta	Infiltration [mm/h]
Byggnader, vägar och vatten	0
Silt och lera	4
Torv	18
Morän	36
Berg (m. tunt jordtäckte)	36
Svallsediment (grus), postglacial sand & grusvägar	72
Isälvs sediment	180

3.4.9 Modelluppsättning

Batymetri

Batymetrin redovisas i figur 6 och har upplösningen 2x2 m för båda modellerna. För båda filerna undersöktes eventuella trummor och kulvertar och byggnader höjdes upp ur terrängen. Cellerna runt omkring analysområdena sattes till *True Land Value*, 205 m för Tived och 135 m för Latorp. För Tived ansattes en höjdnivå för sjön och som går hela vägen ut till modellgränsen, detta för att försöka beskriva hur vatten kan genom sjön flöda ut ur modellen (figur 6).



(a) Batymetri för Tived.

(b) Batymetri för Latorp.

Figur 6: Batymetri för Tived (a) och Latorp (b), gråa värden är *True Land Value*, vilket innebär att de är exkluderade ur beräkningen.

Simuleringstid och tidssteg

Simuleringstiden sattes till motsvarande varaktighet i modellerna. Tidssteget valdes till en början till 1 sekund i alla modeller men på grund av instabilitet i modellerna för Latorp sänktes det för att minska Courant numret och öka stabiliteten. En längre simuleringstid för Latorp-modellen med 35 minuters varaktighet testades för att se hur resultatet ändrades om det fanns tid för ytavrinning som i de andra modellerna.

Gränser

För modellerna som byggdes upp för Latorp valdes att inte ha några gränser men för Tived ansattes detta till den lägsta höjdnivån, 117,8 m, längs med den västra strandkanten som följer sjön Unden. Detta för att vatten ska kunna flöda ut ur modellen och på så sätt efterlikna verkligheten.

Tillflöden och utflöden

För Tived ansattes inget tillflöde eller utflöde på grund av att analysområdet följer ett delavrinningsområde som mynnar ut i en sjö där ett villkor redan ansatts till en vattennivå för sjöytan. Men för Latorp ansattes två utflöden, ett för varje delområde, som båda rann ut i ett mindre vattendrag som slutligen når Svartån. Detta för att inte stoppa upp vatten i modellen utan låta vatten flöda ut ur modellen på ett mer verklighetstroget sätt. Flödena beräknades utifrån det vattenflöde som SMHI uppmätt i deras delavrinningsområde *Myunnar ut i Norrström* och fördelades ut procentuellt efter respektive storlek på område (tabell 4).

Tabell 4: Latorps två delavrinningsområdens storlek och ansatt utflöde.

Delavrinningsområde	Norra	Södra
Storlek [km ²]	6,39	16,3
Flöde [m ³ /s]	2,18	5,57
Totalt flöde [MHQ]	7,75 m ³ /s	

Flood and Dry

I alla modeller valdes Flooding depth till 0,003 m och Drying depth till 0,002 m.

Nederbörd

Totalt skapades fem olika regnfiler, alla med återkomsttiden 100 år, klimatfaktor på 1,25, skevhetsfaktor 0,37 men med varaktigheterna 6 timmar, 4 timmar, 3 timmar samt rinntid 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 och regnfilerna utformades alla enligt avsnitt 3.4.6.

Mannings tal

Utifrån fastighetskartan, ortofoto och tabell 2 skapades också en fil med Mannings tal över de olika markytorna, värden valdes enligt tabell 5.

Tabell 5: Mannings tal som användes i modelleringen baserat på ortofoto, fastighetskarta och värden ifrån Chow (1959) och Vägverket (2008).

Markyta	Mannings tal [m^{1/3}/s]
Vägar och byggnader	75
Grusyta	40
Öppen mark	25
Odlad åker	25
Skog	10
Vatten	20

Infiltration

För att få mer information om markens infiltration skapades ett lager i ArcGIS som utgick från SGU:s jordartskarta. För att inte få för lång simuleringstid och minska arbetsinsatsen gjordes en bedömning vilka jordarter som har liknande infiltrationshastighet och värden antas enligt tabell 3.

3.5 STATISTISKA TESTER

För att undersöka om de olika modellerna för respektive område ger skillnader i volym och vattendjup valdes det att utföra statistiska tester. MIKE 21 ger resultat i form av textfiler som kan användas för att skapa kartunderlag i ArcGIS och ge ett visuellt resultat vilket kompletterades med en statistisk undersökning av deras fördelning och medianer.

3.5.1 Kolmogorov-Smirnov

För att undersöka om data i två skilda vektorer x_1 och x_2 har samma fördelning eller inte kan Two-Sample Kolmogorov-Smirnov testet användas. Kolmogorov-Smirnov är ett icke-parametriskt test för att analysera skillnaden mellan de två vektorernas fördelning. Nollhypotesen som testas är att data i vektorerna x_1 och x_2 är från samma distribution. Detta fungerar för både diskreta och kontinuerliga fördelningar (Upton & Cook 2014). I MATLAB används funktionen *kstest2* för att utföra testet med en signifikansnivå på 5 %. Funktionen utgår från den maximala absoluta skillnaden mellan de kumulativa fördelningsfunktionerna av fördelningarna hos de två dataseten (MathWorks u.å.). Provtutfallet D^* beräknas enligt följande:

$$D^* = \max_x (|\hat{F}_1(x) - \hat{F}_2(x)|) \quad (5)$$

Där $\hat{F}_1(x)$ är andelen av värden från x_1 som är mindre än eller lika med antal datapunkter och $\hat{F}_2(x)$ är andelen av värden från x_2 som är mindre eller lika med antal datapunkter (MathWorks u.å.).

3.5.2 Wilcoxon rangsummetest

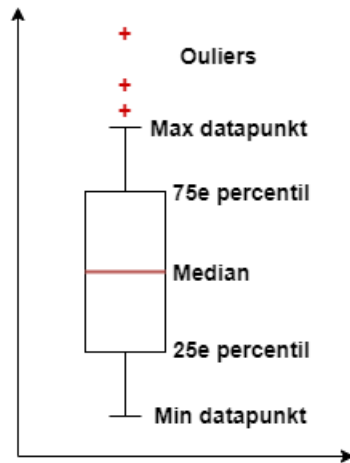
Wilcoxon rangsummetest, ekvivalent till Mann-Whitney testet, används för att undersöka om två dataset, x_1 och x_2 , har samma median. Det är ett icke-parametriskt test som används när dataset är oberoende av varandra. Nollhypotesen som ställs är att x_1 är lika med x_2 , vilket inte händer särskilt ofta men de antas också vara lika om det finns lika många värden $x_1 > x_2$ som $x_1 < x_2$. Förkastning av nollhypotesen sker då antalet $x_1 - x_2 > 0$ och antalet $x_1 - x_2 < 0$ inte är lika. Testet går ut på att ranka data i respektive dataset och sedan summera rangtalen för att få fram rangsumman och därefter beräknas en testvariabel U . U får ett lägre värde ju större skillnad det är mellan x_1 och x_2 medianer. Därför förkastas nollhypotesen om det beräknade värdet på testvariabeln är lägre än signifikansnivån (Helsel & Hirsch 2002). I MATLAB används funktionen *ranksum* för att beräkna U enligt ekvation 6 (MathWorks u.å.).

$$U_1 = R_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} \quad \text{eller} \quad U_2 = R_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} \quad (6)$$

Där R är rangsumman för datasetet och n är dess storlek, det har ingen betydelse hurvida det är x_1 eller x_2 som används för att beräkna U (MathWorks u.å.).

3.5.3 Boxplot

Ett enkelt sätt att presentera data i ett dataset är att skapa en boxplot som ger en tydlig visuell överblick. En boxplot visar medianvärdet för datasetet genom en linje som delar en rektangel i två delar. Rektangeln definieras av 25e och 75e percentilen. Utifrån rektangeln dras så kallade *whiskers* som sträcker sig till de maximala och minimala datapunkterna som inte anses vara outliers, medan outliers plottas individuellt (figur 7). Totalt skapades två boxplottar för varje område, en med outliers och utan, detta för att resultatet består av stora dataset med många outliers vilket kan göra det svårt att utläsa värden på de respektive delarna. Boxplottarna skapades i MATLAB med hjälp av funktionen *boxplot*.



Figur 7: Grafisk beskrivning av en boxplots alla element.

3.6 KÄNSLIGHETSANALYS

En mindre känslighetsanalys utfördes 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 Latorp-området var betydligt större och hade längre simuleringstid genomfördes känslighetsanalys på Tived-modellen med 240 minuters varaktighet. De värden som användes presenteras i tabell 6.

Tabell 6: Värden för Mannings tal och infiltrationshastighet som användes i känslighetsanalysen för Tived-modellen med 240 minuters varaktighet.

Markyta	Referensvärde Mannings tal	Nytt värde
Skog	10 [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$]	12,5 [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$]
Jordart	Referensvärde Infiltrationshastighet	Nytt värde
Morän	35 [mm/h]	44 [mm/h]

4 RESULTAT

4.1 AVRINNINGSOMRÅDE OCH RINNTID

Avrinningsområdet togs fram för Tived och Latorp med beskriven metodik genom ArcGIS, storlek för de respektive områdena blev 8,7 km² för Tived och 22,7 km² för Latorp. De båda områdena fick minst två delavrinningsområden och rinntiden beräknades utifrån den längsta sträckan. I de båda områdena var det nästan samma marktyp över rinnsträckan och därför varierade Mannings tal mycket lite. Rinntiden blev 95 min i Tived och 35 min i Latorp enligt ekvation 2 (tabell 7).

Tabell 7: Avrinningsområdenas storlek och rinntid i området.

Område	Tived	Latorp
Avrinningsområde [km ²]	8,7	22,7
Rinntid [min]	95	35

Då rinntiden var beräknad skapades fem olika regnfiler med de olika varaktigheterna. Som det går att se i tabell 8 så ökar volymen nederbörd [mm] ju längre regnet blir.

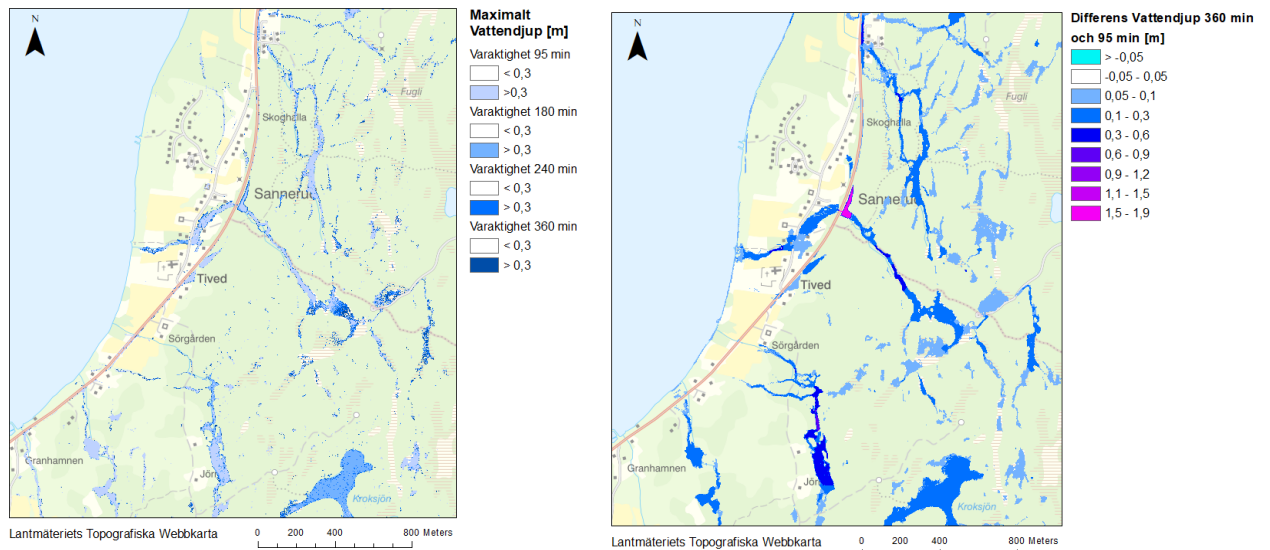
Tabell 8: Det totala volymtillskottet vatten [mm] för hela nederbördstillfället.

Varaktigheten [min]	Volymtillskott [mm]
360	106
240	96,2
180	89,9
95	77,0
35	58,3

4.2 TIVED

4.2.1 Översvämningsutbredning

Efter modelleringen i MIKE 21 skapades ett flertal kartor för att visa översvämningsutbredningen för de olika modellerna. I figur 8a visas djupet för alla modellerna och det kan urskiljas att längre varaktighet ger något större översvämningsutbredning. Vid jämförelse av det maximala vattendjupet mellan de modeller med kortast respektive längst varaktighet, det vill säga 95 min och 360 min, kan det i figur 8b urskiljas en tydlig skillnad. Vattendjupet i modellen med längst varaktighet blir upp till 1,9 meter större vid översvämnningen innan kulverten. Fler kartor för vattendjup, hastighet och flöde finns i bilaga A.



(a) Det maximala vattendjupet för alla modeller. (b) Differensen i det maximala vattendjupet mellan varaktigheterna 360 och 95 min. Positivt värde visar att modellen med 360 mins varaktighet ger ett större vattendjup och negativa värden visar det motsatta.

Figur 8: Översvämningsskartor för tätorten Tived med det maximala vattendjupet (a) och differens i vattendjup (b).

4.2.2 Totala vattenvolymer

Beroende på varaktigheternas längd så varierade den totala volymen vatten i området helt i enlighet med vad som förväntades. Detta eftersom volymen nederbörd ökar ju längre varaktighet blir (tabell 8). Tabell 9 visar att vattenvolymen skiljer sig åt och att en längre varaktighet ger större volym. Det går också att utläsa den procentuella ökningen från den med minst varaktighet, där skillnaden i volymen mellan modellerna med längst och kortast varaktighet är ca 30 %.

Tabell 9: Totala volymer regnvatten i hela avrinningsområdet Tived.

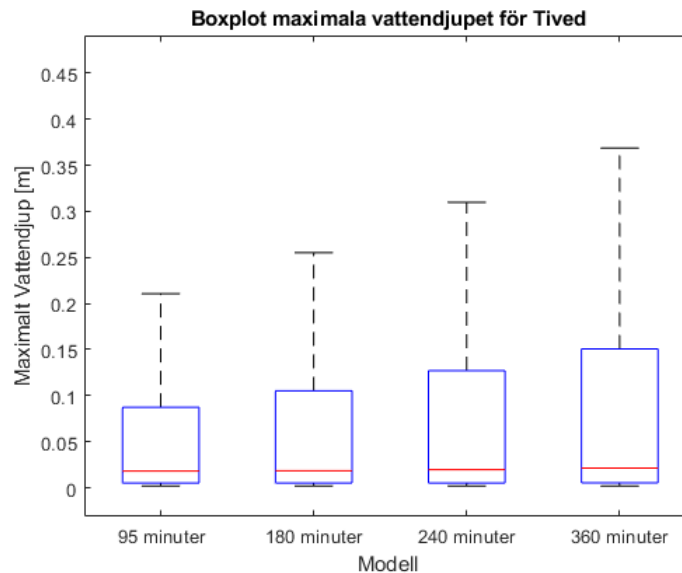
Varaktighet [min]	Total volym vatten [m ³]	Ökning från 95 min varaktighet
360	152 900	30 %
240	138 900	18 %
180	127 500	8 %
95	117 300	

Ett område som skulle kunna bli extra utsatt oavsett varaktighet är byggnaderna kring Tived kyrka och därför undersöktes vattenvolymerna där närmre. Skillnaden mellan den kortaste och längsta varaktigheten är 746 m³, vilket presenteras i tabell 10.

Tabell 10: Totala volymer regnvatten i centrala delar av Tived.

Varaktighet [min]	Total volym vatten [m ³]
360	2 510
240	2 280
180	2 100
95	1 770

Det maximala vattendjupet togs fram för varje cell i modellerna och boxplottar skapades enligt metodik beskrivet i 3.5.3. I figur 9 ses boxplotarna för de olika modellerna med 95 min, 180 min, 240 min och 360 min varaktighet och hur de olika dataseten skiljer sig. Medianvärdet för de olika modellerna i samma ordning som ovan var 0,0181, 0,0185, 0,0197 respektive 0,0214 meter. Boxplot med outliers hittas i bilaga B.



Figur 9: Boxplot för det maximala vattendjupet i Tived utan outliers. Antal datapunkter: $n_{95} = 5\,679\,994$, $n_{180} = 5\,681\,186$, $n_{240} = 5\,681\,776$, $n_{360} = 5\,681\,845$

4.2.3 Kolmogorov-Smirnov och Wilcoxon rangsummetest

För att se om dataseten med olika varaktighet skilde sig signifikant åt undersöktes om de hade samma fördelning via Kolmogorov-Smirnov testet och medianvärdena via Wilcoxon rangsummetestet. Nollhypotesen ställdes enligt beskrivning i avsnitt 3.5.1 och 3.5.2 med datasetet med 95 mins varaktighet som referens. Resultatet visar att i alla fallen kan nollhypotesen förkastas för både Kolmogorvo-Smirnov och Wilcoxon och de är signifikant olika (tabell 11).

Tabell 11: Resultat från de statistiska testerna som utfördes på dataseten ifrån Tived. Alla hypoteser förkastades med ett p-värde på < 0.001 .

Kolmogorov- Smirnov			Wilcoxon rangsumma		
Varaktighet	H ₀	p-värde	Varaktighet	H ₀	p-värde
180 min	Förkastad	$< 0,001$	180 min	Förkastad	$< 0,001$
240 min	Förkastad	$< 0,001$	240 min	Förkastad	$< 0,001$
360 min	Förkastad	$< 0,001$	360 min	Förkastad	$< 0,001$

4.2.4 Courant nummer

Courant numret beräknades enligt ekvation 3 för varje modell, med tidssteget 1 sekund och upplösningen 2x2 m. Resultaten visade att modellerna var stabila för alla varaktigheter då Courant numret var < 1 (tabell 12) och att tidssteget därmed inte behövde ändras för något av fallen.

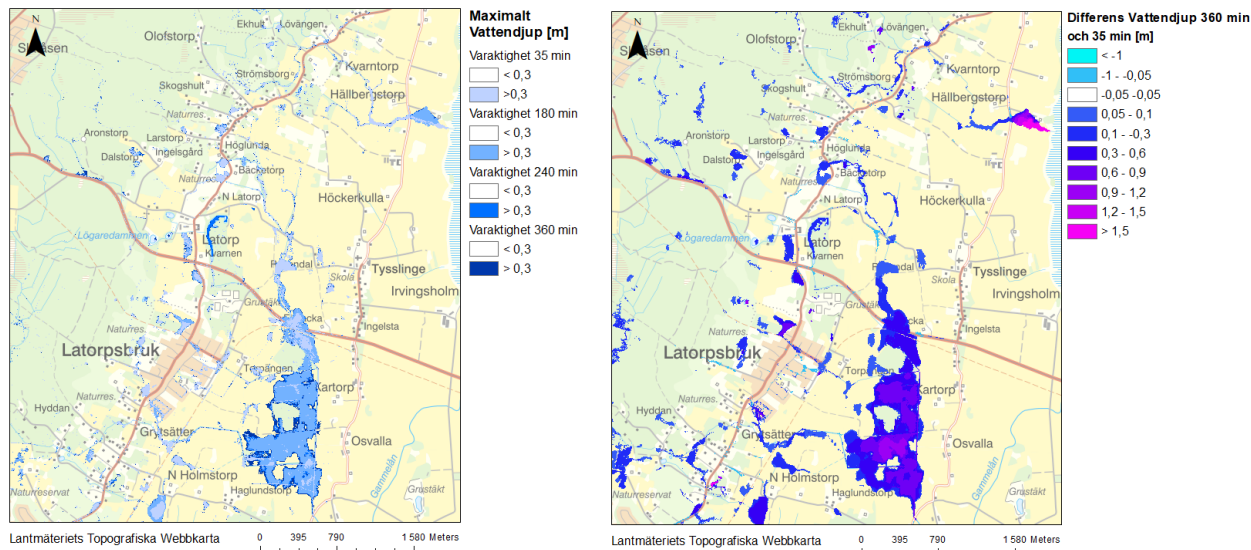
Tabell 12: Det beräknade Courant numret för varje körning. Resultatet indikerar att modellen är stabil för alla varaktigheter.

Modell	Courant nummer
95 min	0,66
180 min	0,66
240 min	0,66
360 min	0,66

4.3 LATORP

4.3.1 Översvämningsutbredning

I alla modeller för Latorp bildades ett större översvämningsområde på åkrarna men få översvämningsområden uppstod i de bebyggda delarna. Vid jämförelse av resultat från alla Latorp-modeller kunde det visuellt urskiljas i figur 10a att längre varaktighet ger större översvämningsutbredning. Om det maximala vattendjupet jämförs mellan de modeller med kortaste respektive den längsta varaktigheten, det vill säga 35 min och 360 min, finns tydliga skillnader (figur 10b). Ett par små partier visar större vattendjup med den kortare varaktigheten men generellt så tenderar vattendjupen att vara större med den längre varaktigheten. Vissa områden i figur 10b har en skillnad i vattendjup på mer än 1,5 meter.



(a) Det maximala vattendjupet för alla modeller. (b) Differensen i det maximala vattendjupet mellan Mörkare färg visar att längre varaktigheter ger större översvämningsutbredning.

lan varaktigheterna 360 och 35 min. Positivt värde visar att modellen med 360 min varaktighet ger ett större vattendjup och negativa värden visar det motsatta.

Figur 10: Översvämningskartor för tätorten Latorp, med maximala vattendjupet (a) och differens i vattendjup (b)

4.3.2 Totala vattenvolymer

Det totala volymerna i Latorp efter respektive regn visar att modellen med 35 mins varaktighet ger störst volymer (tabell 13). Regnet i denna modell 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 enligt figur 3 vilket ger en avtagande effekt där mer infiltration kan ske. Därför testades också en modell med 35 mins varaktighet av regn följt av 25 min simuleringstid utan regn för att se hur mycket vatten som rinner bort och bättre spegla verkligheten, resultatet blev en totalvolym på 335 001 m³, vilket är en minskning på 61,6 %.

Tabell 13: Totala volymer regnvatten Latorp.*Värden från modellen med adderad simuleringstid utan nederbörd.

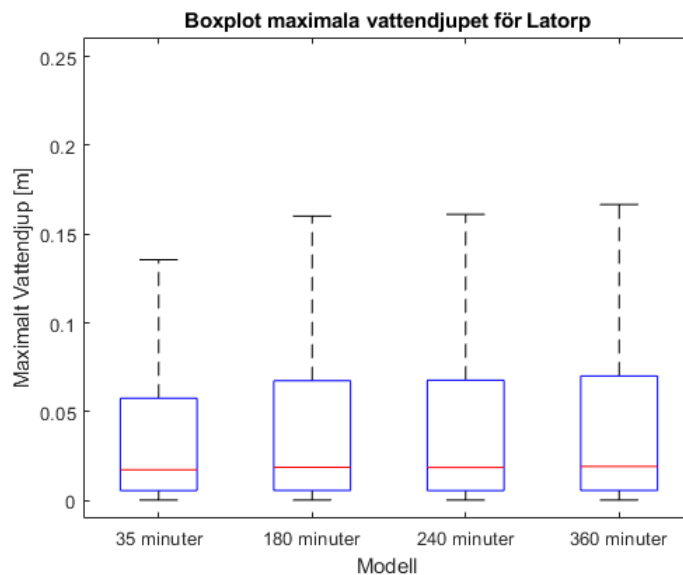
Varaktighet [min]	Total volym vatten [m ³]	Ökning från 35 min varaktighet
360	467 500	40 %
240	436 200	30 %
180	424 500	27 %
35	872 100 / 335 000*	

Ett av riskområdena är kvarteren i centrala Latorpsbruk, där det ser ut att skapas översvämning på vägar och mellan hus. För att undersöka skillnader i modellerna närmre ansattes ett område som täckte in alla kvarteren och därefter beräknades totalvolymerna i det området. Det syns en ökning i volym om varaktigheten ökar, undantaget är dock modellen med 35 mins varaktighet utan adderad simuleringstid som har en mycket större volym vatten (tabell 14).

Tabell 14: Totala volymer regnvatten i centrala delar av Latorpsbruk. *Värden från modellen med adderad simuleringstid utan nederbörd.

Varaktighet [min]	Total volym vatten [m ³]
360	17 500
240	17 200
180	18 500
35	83 000 / 16 000*

Det maximala vattendjupet togs fram för varje cell och boxplottar skapades enligt metodik beskrivet i 3.5.3. I figur 11 ses boxplottar för de olika modellerna med 35 min (utan adderad tid), 180 min, 240 min och 360 min varaktighet och hur de olika dataseten skiljer sig. Medianvärdet för de olika körning i samma ordning som ovan blev 0,0173, 0,0187, 0,0186 respektive 0,0192 meter. Boxplot med outliers hittas i bilaga B.



Figur 11: Boxplot för det maximala vattendjupet i Latorp utan outliers. Antal datapunkter: $n_{35} = 5\,682\,653$, $n_{180} = 5\,682\,653$, $n_{240} = 5\,682\,653$, $n_{360} = 5\,682\,653$.

4.3.3 Kolmogorov-Smirnov och Wilcoxon rangsummetest

På samma sätt som i avsnitt 4.2.3 undersöktes dataseten ifrån de fyra olika modellerna för Latorp med Kolmogorov-Smirnov och Wilcoxon rangsumme-testerna. Som referens användes dataseten från modellen med 35 mins varaktighet. I alla fallen kunde nollhypotesen förkastas och dataseten är signifikant olika, det vill säga att de inte har samma fördelning eller median-värde (tabell 15).

Tabell 15: Resultat för de statistiska testerna som utfördes på dataseten ifrån Latorp. Alla hypoteser förkastades med ett p-värde på < 0.001 .

Kolmogorov-Smirnov			Wilcoxon rangsumma		
Varaktighet	H ₀	p-värde	Varaktighet	H ₀	p-värde
180 min	Förkastad	$< 0,001$	180 min	Förkastad	$< 0,001$
240 min	Förkastad	$< 0,001$	240 min	Förkastad	$< 0,001$
360 min	Förkastad	$< 0,001$	360 min	Förkastad	$< 0,001$

4.3.4 Courant nummer

Courant numret beräknades först, enligt ekvation 3, för modellen med kortast varaktighet, med tidssteget 1 sekund och upplösningen 2×2 m. För tidssteget 1 sekund blev Courant numret 16,0 då U_{max} var 32,1 m/s, det beräknade Δt_{max} blev då 0,06 s. Att simulera med ett sådant lågt tidssteg var inte möjligt att testa på de modellerna med längre varaktighet på grund av den långa simuleringstid som det gav upphov till. Istället testades körningar med tidsintervallet 0,5 s, 0,3 s och 0,2 s. För tidssteget 0,5 blev Courant numret 9,04 och Δt_{max} 0,06 s och för tidssteget 0,3 s blev det 1,57 respektive 0,2 (tabell 16). Men valdes tidsintervallet 0,2 s understeg Courant numret 1 och Δt_{max} beräknades till 0,38 s. Trots risk för instabilitet valdes dock tidssteget till 0,5 s för de andra beräkningarna på grund av begränsningar i datakapacitet. Resultaten för resterande Courants nummer visas i tabell 16.

Tabell 16: Det beräknade Courant numret för varje körning. *Mannings tal ändrat från 75 till 65 för hårdgjorda ytor.

Modell	Courant nummer			
	1 s	0,5 s	0,3 s	0,2 s
35 min	16,0	9,04	1,57	0,523
180 min		11,8		
240 min		14,2*		
360 min		16,8*		

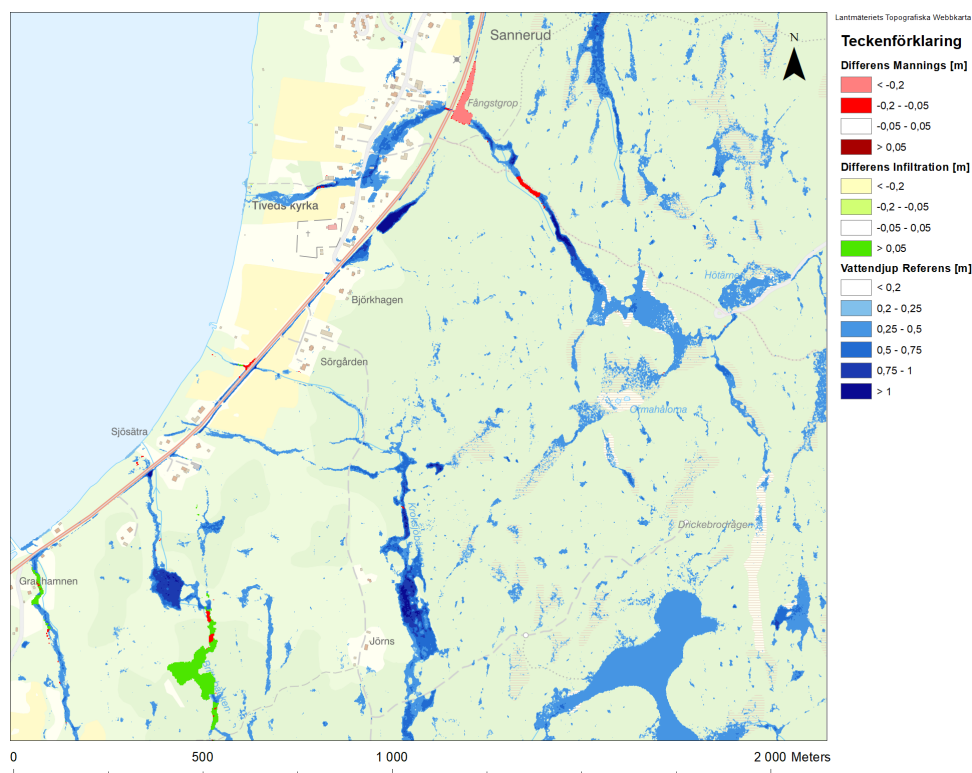
4.4 KÄNSLIGHETSANALYS

Resultatet från känslighetsanalysen visar i tabell 17 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 12), där vattennivån i lågpunkten precis innan centrala Tived är högre vid förändrat Mannings tal än för referensscenariot. 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 (figur 12).

Tabell 17: Resultatet från känslighetsanalysen visar att totalvolymen minskar med ett ökat Mannings tal och infiltration men i centrala Tived ökar det något med ökad Mannings tal.

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



Figur 12: Differenskartan för känslighetsanalysen. Negativa värden indikerar att förändrat Mannings tal eller infiltration ger en högre vattennivå än referens, positiva värden indikerar att ger ett lägre vattenstånd än referens.

5 DISKUSSION

5.1 AVRINNINGSSOMRÅDE OCH 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 topografin. 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 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. I arbetet drogs endast räta linjer och rinnsträckan delades upp i ca 15 segment, viktigt var dock att undersöka terrängen kring rinnsträckan för att säkerställa att markavrinningen gick längs med den valda rinnsträckan. 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 men också 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 under 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.

Val av Mannings tal påverkar rinntiden i stor utsträckning och därför är det viktigt att bedömningen av markanvändningen blir korrekt. Vissa förenklingar kan dock anses vara nödvändiga för att hålla ned på beräkningstiden. I detta arbete användes Mannings tal efter Vägverket (2008) rekommenderade värden och Chow (1959) som stöd, men i verkligheten kan Mannings tal variera inom en typ av markanvändning och med olika årstider. I Chow (1959) beskrivs hur parametern kan variera med olika typer av grödor och olika höjd på grödorna. Arbetsinsatsen för att bestämma och tilldela Mannings tal på detaljerad nivå kan vara omfattande. Men att ange olika värden för ett antal markanvändningsområden anses ändå ge en bättre representation av markanvändningen än att endast sätta hårdgjorda ytor till 50 och gröna ytor till 2 såsom MSB (2017) rekommenderar. De gröna ytorna som tilldelats värden i detta

arbete varierade mellan $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ och $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, vilket ändå ansågs ge en viss nyansering.

5.2 RESULTAT SKYFALLSKARTERINGAR

5.2.1 Tived

Översvämningsutbredningen i Tived håller sig främst till de sankmarker som finns nordöst om orten men det bildas också en del vattenansamlingar i området kring Tived kyrka. Det blir också höga vattennivåer (över 1 m) vid det dike och kulvert som går genom den större landsvägen vilket kan medföra översvämningsproblematik. Eftersom inga dimensioner fanns att tillgå på kulverten så har en korrektion gjorts utifrån höjdmodellens upplösning, det vill säga cellstorleken som är $2 \times 2 \text{ m}$. För mer detaljerade studier krävs information om rätt dimensioner för att minska osäkerheterna i resultatet. Flödesvägarna, som kan ses i figur A.5 i bilaga A, följer främst det dike som blir översvämmat men också ett par stråk i både norr och söder. Hastigheterna som uppstår visas i samma avsnitt i figur A.6 och de är till stor del låga. Risker kan ändå uppstå där vattendjupet är stort trots att vattenhastigheterna tillsynes är låga. MSB (2017) presenterar i sin vägledning en analys för fara av människors liv där det går utifrån vattenhastighet och djup beräkna bedömd fara. Det kan därmed finnas risker vid översvämningsområden kring dike och kulvert men också i de andra flödesvägarna.

5.2.2 Latorp

För modellen i Latorp visade det sig direkt att något i modellen var instabilt då volymfelet från en början var större än den slutgiltiga totalvolymen samt att det fanns mycket höga hastigheter kring kvarteren i Latorpsbruk. Att höga hastigheter uppstår på vägar kan indikera att Mannings tal är för högt, det vill säga att det blir för lite friktion i modellen. I detta fall tydde det också på att något var fel med flödesvägarna mellan husen i samhället då vatten till viss del blev instängt och bidrog till de höga hastigheterna. Detta var en effekt av att vägarna gjordes bredare i ArcGIS och därmed "växte ihop" med närliggande hus. Det är viktigt att vatten kan flöda mellan hus och vägar annars kan det felaktigt uppstå stora volymer vatten i området. Detta åtgärdades genom att sänka Mannings tal från 75 till 65 för hårdgjorda ytor samt säkerställa flödesvägarna. Courant numret beräknades hos den modell med 35 minuters varaktighet för att undersöka stabiliteten hos modellen innan de andra modellerna simulerades. Då Courant numret till en början markant översteg 1 visade det på en instabilitet i modellen, något som kunde korrigeras genom att välja ett kortare tidssteg. Stabilitet nåddes när tidssteget sänktes till 0,2 sekunder vilket dessvärre i praktiken var omöjligt att använda på de längre varaktigheterna på grund av begränsad datakapacitet. Då Latorps analysområde täckte nästan 23 km^2 tog vissa modeller upp till ett par dygn att simulera, därför valdes att en korrigering av Mannings tal och flödesvägar samt en sänkning av tidssteget till 0,5 sekunder fick vara tillräckligt. Vid mer tid och/eller datakapacitet hade simuleringar med tidssteg 0,2 sekunder på samtliga områden varit önskvärt då det troligtvis hade givit mer stabila modeller.

Samtliga modeller visar stora områden med översvämningsområden men de bildas främst på lågområdet vilket till största delen består av åkermark. Det skulle kunna tänkas att de stora översvämningsområdena skulle kunna bero på att utflödet ifrån modellen är underdimensionerat och då skulle översvämningsutbredningen bli mindre. Dock bildas en vattenansamling i samband

med denna översvämning som täcker delar av bilvägen (över 1 meter vattendjup med modellen med längst varaktighet), detta trots att en korrektion gjorts för eventuell kulvert. Det bästa alternativet hade varit om kulverten hade kunnat läggas in med korrekta dimensioner för att få ett mer korrekt resultat men det kan ändå antas att mycket vatten kommer att ansamlas just där. I sydvästra hörnet finns också en kraftig översvämning (över 3 m) för nästan samtliga modeller som uppstått troligtvis till följd av en väldigt lokal lågpunkt i området. Men trots försök att minimera instabiliteten förblir hastigheterna och flödena mycket höga i ett av de södra kvarteren i Latorp. I figur A.12 (bilaga A) går det också att se att höga flöden återfinns i de diken som går längs med åkrarna och under den stora bilvägen.

5.3 VARAKTIGHETENS PÅVERKAN PÅ VATTENVOLYM, VATTENDJUP OCH ÖVERSVÄMNINGSUTBREDNING

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 översvänningsutbredningen ger de olika modellerna en viss skillnad, i Tived varierar det mest kring sankmarkerna och effekterna är inte så stora centralt även om det går att se en ökning i utbredning vid längre varaktigheter. I Latorp syns detta tydligare, där ökar översvänningsutbredningen markant med att varaktigheten ökar, speciellt på de åkrar som utgör ett lågområde. Att en 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 Latorp 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 en modell 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 den nya modellen 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 återses 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 timmar som en lämpligt standardvärde (Svenskt Vatten 2011). Att både 4 (Svenskt Vatten 2011) och 6 timmar (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 områden. Är det uppenbart att rinntiden fram till analysområdet är längre än 6 timmar bör regnets varaktighet öka så att det med marginal täcker rinntiden (Gustafsson 2019). Men det kan ses i figur A.7 och A.14 att det blir en tämligen stor skillnad i vattendjup om 4 eller 6 timmar väljs, i Tived kan det skilja sig flera decimeter vid de maximala vattendjupen men i Latorp ses ett mindre parti med en meter skillnad i vattendjup om 6 timmar väljs. 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 översvämningenspolicy (Zevenbergen m.fl. 2008). I Sverige har vi som tidigare nämnt förordningen om översvämningenspolicy (SFS 2009:956) och MSB:s föreskrifter om riskhanteringsplaner (MSB-FS 2013:1) men det finns inga lagkrav på vilket årsregn vi ska använda vid det förebyggande arbetet (Bäckman 2018). Att använda en klimatfaktor 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 klimatfaktorer 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 klimatfaktor enligt både Olsson m.fl. (2017), MSB (2017), Gustafsson (2019) och Arnbjerg-Nielsen (2012).

5.4 KÄNSLIGHETSANALYS

Känslighetsanalysen visar att 25 % skillnad i Mannings tal ger en skillnad på ca 2 % i total volym vatten och samma skillnad i infiltration ger liknande resultat för Tived-modellen med 240 minuters varaktighet. En så pass stor skillnad i de dominerande partierna av respektive parameter hade kanske förväntas att ge en större differens i volym vatten. I figur 12 syns vissa partier där det blir skillnad i maxdjupet vid förändrat Mannings tal, främst vid lågpunkten innan kulverten som går under vägen. Där blir vattenståndet runt 0,2 meter högre om Mannings tal ökar. Mindre friktion ger snabbare markavrinning, vilket ger mer vatten i flödesvägarna och på så sätt ett större vattendjup där vattnet stoppas upp. Den skillnaden går inte att se med infiltration men det finns ett parti i figur 12 där vattenståndet sjunker ett par centimeter på grund av höjd infiltrationkapacitet.

Resultatet ifrån denna känslighetsanalys tyder på att varaktighet är en viktig parameter att undersöka när skyfallskarteringar utförs. Mannings tal och infiltration är likväl viktigt men för de 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 vilket parameter som ger störst utslag på resultatet och kunna generalisera krävs dock större studier. Eftersom det finns stora osäkerheter vid genomförandet av skyfallskarteringar är det viktigt att skapa modeller som är så verklighetstroga som möjligt. Val av varaktighet är en viktig faktor men det finns många andra parameterintervall som också kan påverka resultatet.

5.5 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 förenklingar i modelleringsarbetet, dels för att göra data mer användarvänligt men också för att minimera tidsåtgången.

5.5.1 Data

Osäkerheter i data finns redan i hur de införskaffades men också hur de bearbetas och används. Mycket av underlaget i denna rapport kommer ifrån Lantmäteriets karttjänster vilket var den högsta upplösningen som fanns att tillgå. Höjdmodellen som användes hade en upplösning på 2x2 meter vilket faller inom ramarna för MSB (2017) rekommendationer för detaljerade studier. Är upplösningen större än 5 meter är det svårt att beskriva objekt som kan påverka flödesvägarna såsom byggnader och vägar men det kan också bli svårt att fånga upp lågpunkter i topografin. Däremot kan inte mindre ojämnheter såsom trottoarkanter fångas upp med den använda upplösningen. Höjdmodellen måste också bearbetas för att beskriva kulvertar och trummor, detta kräver en kännedom om placering och dimensioner för att på ett så korrekt sätt som möjligt beskriva de verkliga flödesvägarna. Av samma anledning behövs också byggnader höjas upp ur terrängen (MSB 2017). Däremot kan de kulvertar och trummor som korrigerats i terrängen ha överskattad kapacitet om de har dimensioner som är mindre än 2 meter, detta på grund av att uppgifter saknades och minsta möjliga korrigerings är upplösningen.

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.

5.5.2 Validering

Som tidigare nämnt i avsnitt 2.3.5 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 Latorp 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 inte resultatet vara orimligt då översvämningutbredning följer flödesvägar och lågpunkter.

6 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 timmar 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 modellen avslutar relativt abrupt med mindre möjlighet för infiltration och ytavrinning. Olika varaktigheter ger också skillnader i det maximala vattendjupet och översvämningsutbredning, 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*. Tillgänglig: <https://rib.msb.se/filer/pdf/28004.pdf>.

Arnbjerg-Nielsen, K. (2012). Quantification of climate change effects on extreme precipitation used for high resolution hydrologic design. *Urban Water Journal*, vol. 9 (2), ss. 57–65. DOI: 10.1080/1573062X.2011.630091.

Arnell, V (1991). Nederbördsdata vid dimensionering av avloppssystem. *VAV*, vol. P65.

Ashley, R. M., Balmfort, D. J., Saul, A. J. & Blanskby, J. D. (2005). Flooding in the future - Predicting climate change, risks and responses in urban areas. *Water Science and Technology*, vol. 52 (5), ss. 265–273. DOI: 10.2166/wst.2005.0142.

Bäckman, H. (2018). Skyfallens ABC. *Stadsbyggnad*, vol. Nr 2. Tillgänglig: https://www.svensktvatten.se/globalassets/rornat-och-klimat/skyfallensabc-sartryck-stadsbyggnad_2_2018.pdf.

Berg, P., Moseley, C. & Haerter, J. O. (2013). Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures. *Nature Geoscience*, vol. 6 (3), ss. 181–185. DOI: 10.1038/ngeo1731. Tillgänglig: <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1731>.

Chow, V. T. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill. Tillgänglig: http://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/8_Hydraulic_Reference/Mannings_n_Tables.htm.

Dahlström, B. (2010). Regnintensitet–en molnfysikalisk betraktelse. *SVU Rapport*, vol. Nr 2010-05. Tillgänglig: http://vav.griffel.net/filer/Rapport_2010-05.pdf.

DHI (u.å.). Mike 21 Flow Model Hints and Recommendations in Applications with Significant flooding and drying. Tillgänglig: <https://www.dhigroup.com/upload/dhisoftwarearchive/papersanddocs/hydrodynamics/MIKE21SignificantFlodryGu.pdf>.

DHI (2016). MIKE 21 Flow Model & MIKE 21 Flood Screening Tool - Hydrodynamic Module. Tillgänglig: https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Coast_and_Sea/M21HDFST_Scientific_Doc.pdf.

DHI (2017). MIKE 21 Flow Model User Manual. Tillgänglig: http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Coast_and_Sea/M21HD.pdf.

Fletcher, T. D., Andrieu, H. & Hamel, P. (2013). Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in Water Resources*, vol. 51, ss. 261–279. DOI: 10.1016/j.adwatres.2012.09.001.

- Haghighatafshar, S., Cour Jansen, J. la, Aspegren, H., Lidström, V., Mattsson, A. & Jönsson, K. (2014). Storm-water management in Malmö and Copenhagen with regard to Climate Change Scenarios. *VATTEN – Journal of Water Management and Research*, vol. 70, ss. 159–168. Tillgänglig: http://www.tidskriftenvatten.se/wp-content/uploads/2017/04/48_article_4750.pdf.
- Helsel, D. R. & Hirsch, R. M. (2002). *Statistical Methods in Water Resources, Techniques of Water Resources Investigations*, Book 4, Chapter A3 U.S. Geological Survey. DOI: 10.2307/1269385. Tillgänglig: [http://water.usgs.gov/pubs/twri/twri4a3/](http://water.usgs.gov/pubs/twri/twri4a3/%5Cnhttp://pubs.usgs.gov/twri/twri4a3/).
- Helsen, S, Caluwaerts, S, De Cruz, L, Demuzere, M, De Troch, R, Termonia, P, Vanden Broucke, S, Lipzig, N. P. M. van, Van Schaeybroeck, B & Wouters, H (2019). Consistent scale-dependency of future increases in hourly extreme precipitation in two convection-permitting models. *Climate dynamics (in review)*. DOI: 10.1007/s00382-019-05056-w. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1007/s00382-019-05056-w>.
- Hernebring, C. (2006). 10års-regnets återkomst, förr och nu. *VA-Forsk rapport*, vol. Nr 2006-04. Tillgänglig: http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk_2006-04.pdf.
- Hernebring, C. & Mårtensson, E. (2013). Pluviala översvämningar Konsekvenser vid skyfall över tätorter, vol. MSB567-13. Tillgänglig: <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/26609.pdf>.
- Hernebring, C., Milotti, S., Kronborg, S. 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*, vol. 71 (2), ss. 85–99. Tillgänglig: https://www.tidskriftenvatten.se/wp-content/uploads/2017/04/48_article_4764.pdf.
- Jha, A. K., Bloch, R. & Lamond, J. (2012). *Cities and Flooding*. The World Bank. DOI: 10.1596/978-0-8213-8866-2. Tillgänglig: <http://elibrary.worldbank.org/doi/book/10.1596/978-0-8213-8866-2>.
- Jordbruksverket (2019). Stöd för projekt och samarbeten inom lokalt ledd utveckling. Tillgänglig: <https://nya.jordbruksverket.se/stod/lokalt-ledd-utveckling-genom-leader/stod-for-projekt-och-samarbeten-inom-lokalt-ledd-utveckling>.
- Kjellström, E., Abrahamsson, R., Boberg, P., Jernbäcker, E., Karlberg, M. & Morel, J. (2014). Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget. *SMHI Klimatologi*, vol. Nr 9. Tillgänglig: https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.81608!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/Klimatologi_9.pdf.
- Länstyrelsen, S. l. (2018). Rekommendationer för hantering av översvämning till följd av skyfall – stöd i fysisk planering, vol. Fakta 2018. Tillgänglig: <https://www.lansstyrelsen>.

se/download/18.6ae610001636c9c68e5474bf/1530519037587/Fakta2018-5RekommendationerfÅŕrhanteringavÅŕversvÅd'mningtillfÅŕljdavskyfall.pdf.

Larsson, R. (2008). Jords egenskaper. *Statens geotekniska institut (SGI)*, vol. Informatio (5).

TillgÄnglig: <https://www.swedgeo.se/globalassets/publikationer/info/pdf/sgi-i1.pdf>.

Laxå Kommun (2019). *Tived utvecklingsplan*. Tekn. rapport. TillgÄnglig: <https://www.laxa.se/download/18.7d2872eb16d1bb3f84fc1a95/1568694067733/TivedsUtvecklingsplan.pdf>.

Laxå Kommun (2019). *Tived utvecklingsplan*. Tekn. rapport. TillgÄnglig: <https://www.laxa.se/download/18.7d2872eb16d1bb3f84fc1a95/1568694067733/TivedsUtvecklingsplan.pdf>.

LEADER MellansjÖlandet (2017). Utveckling med LEADER-stöd. TillgÄnglig: <http://www.mellansjolandet.se/256.pdf>.

Lerer, S. M., Righetti, F., Rozario, T. & Mikkelsen, P. S. (2017). Integrated hydrological model-based assessment of stormwater management scenarios in Copenhagen's first climate resilient neighbourhood using the three point approach. *Water (Switzerland)*, vol. 9 (11). DOI: 10.3390/w9110883.

Marsalek, J. & Watt, W. E. (1984). Design storms for urban drainage design. *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 11 (3), ss. 574–584. DOI: 10.1139/184-075.

MathWorks (u.å.). Two-sample Kolmogorov-Smirnov test - MATLAB kstest2. TillgÄnglig: <https://se.mathworks.com/help/stats/kstest2.html#d117e518365>.

MathWorks (u.å.). Wilcoxon rank sum test - MATLAB ranksum. TillgÄnglig: <https://se.mathworks.com/help/stats/ranksum.html>.

MSB (2014). *Kartläggning av skyfalls påverkan på samhälls- viktig verksamhet*. TillgÄnglig: <https://rib.msb.se/filer/pdf/27365.pdf>.

MSB (2017). *VÄgledning för skyfallskartering - Tips för genomförande och exempel på användning*. TillgÄnglig: <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/28389.pdf>.

MSBFS 2013:1 (u.å.). Föreskrifter om länsstyrelsens planer för hantering av översvÄmningsrisker (riskhanteringsplaner).

NaturvÄrdsverket (2019). Beräkning av avrinningsområden - NaturvÄrdsverket. TillgÄnglig: <https://www.naturvardverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Arbetsmaterial/Miljobedomningar/Geografisk-information-GIS/Berakning-av-avrinningsomraden/>.

Olsson, J. & Josefsson, W. (2015). Skyfallsuppdraget. *SMHI Klimatologi*, vol. Nr 37. TillgÄnglig: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:948110/FULLTEXT01.pdf>.

- Olsson, J., Berg, P., Eronn, A., Simonsson, L., Wern, L. & Yang, W. (2017). Extremregn i nuvarande och framtida klimat. *SMHI Klimatologi*, vol. Nr 47. Tillgänglig: https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.134304!/klimatologi_47_4.pdf.
- Salomonsson, M., Larsson, M., Karlsson, S., Alexandersson, H. & Andreasson, M. (2017). Beredningsplanering för skyfall. *SVU Rapport*, vol. NR 2017-03. Tillgänglig: https://www.svensktvatten.se/contentassets/9fda8707312944ba8968f374e54c418a/svu-rapport_2017-03.pdf.
- SCB (2019). Statistiska tätorter 2018: befolkning landareal, befolkningstäthet. Tillgänglig: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/miljo/markanvandning/tatorter/pong/statistiknyhet/befolkning-i-tatorter-2017/>.
- SFS 2009:956 (u.å.). Förordning om översvämningsrisker, (Stockholm: Justitiedepartementet).
- SMHI (u.å.). IPCC Nationell kontaktpunkt. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/klimat/ipcc/ipcc>.
- SMHI (2018). Hur mäts nederbörd? Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/hur-mats-nederbord-1.637>.
- Svenskt Vatten (2011). *Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem*. 1. utg. 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*. Vol. P110.
- United States Department of Agriculture (1997). *National Engineering Handbook Hydrology*. Kap. 15. Tillgänglig: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/?cid=stelprdb1043063>.
- Upton, G. & Cook, I. (2014). *A Dictionary of Statistics*. Oxford University Press. DOI: 10.1093/acref/9780199679188.001.0001.
- Vägverket (2008). VVMB 310 Hydraulisk dimensionering.
- Winterbone, D. E. & Turan, A. (2015). *Advanced Thermodynamics for Engineers: Second Edition*. Elsevier Inc., s. 1–551. DOI: 10.1016/C2013-0-13437-X.
- 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*, vol. 1 (2), ss. 81–88. DOI: 10.1111/j.1753-318x.2008.00010.x.

OPUBLICERAT MATERIAL

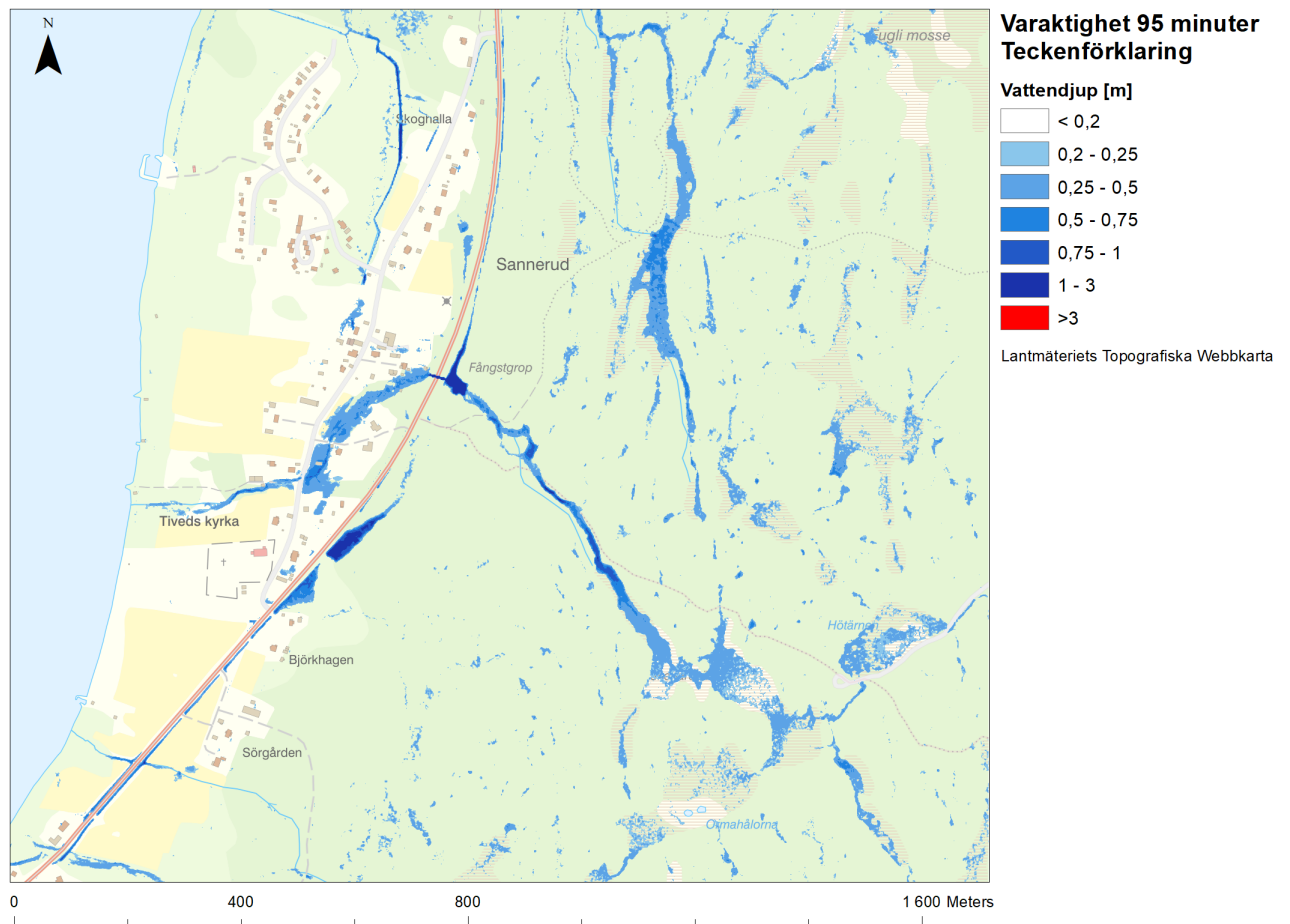
Gustafsson, L.-G. (2019). *Mejlkontakt*.

7 BILAGA

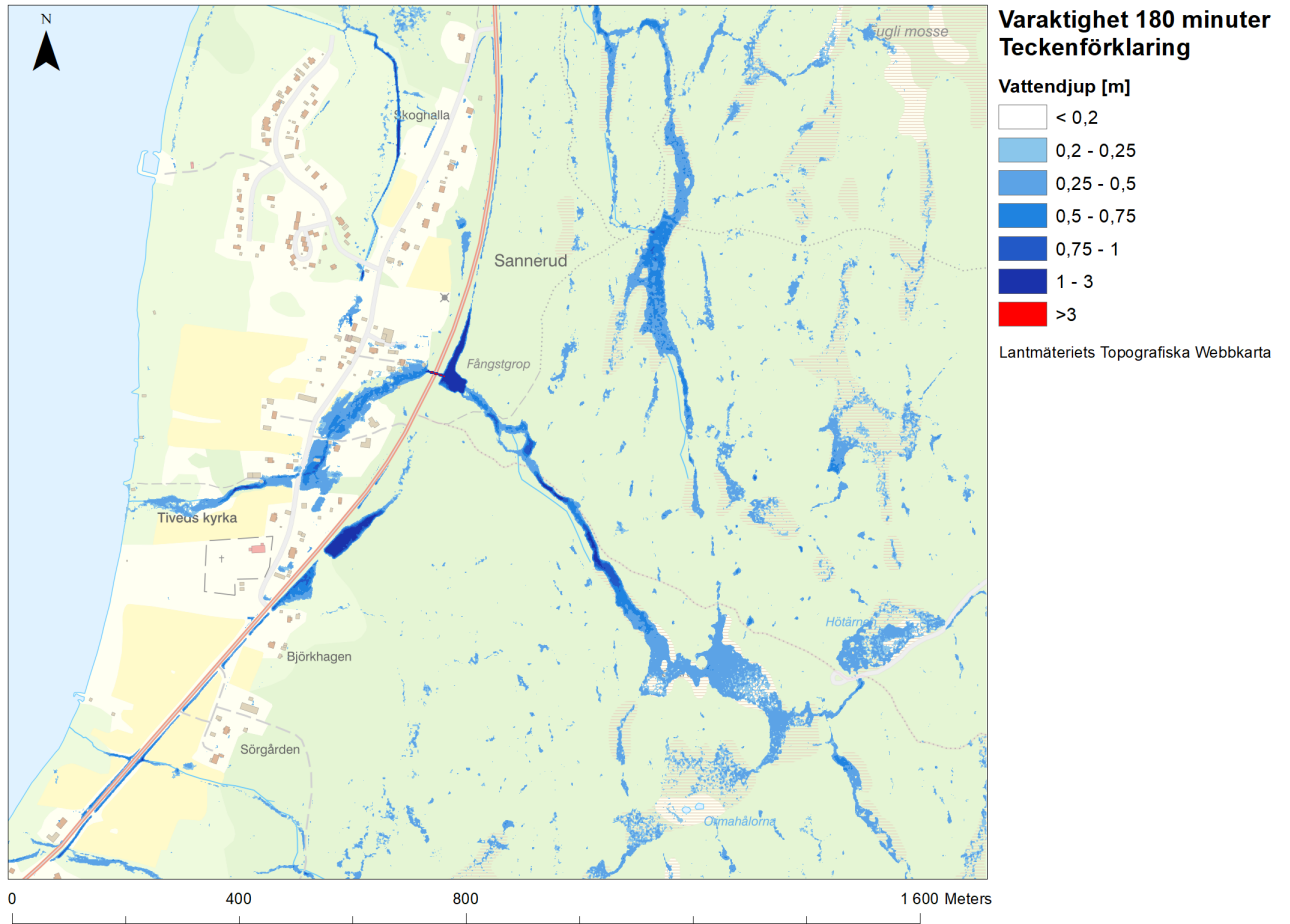
Vattendjup under 0,2 meter, hastigheter under 0,03 m/s och flöden under $0,4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ redovisas inte då de anses ha en mindre påverkan på området.

A ÖVERSVÄMNINGSKARTOR

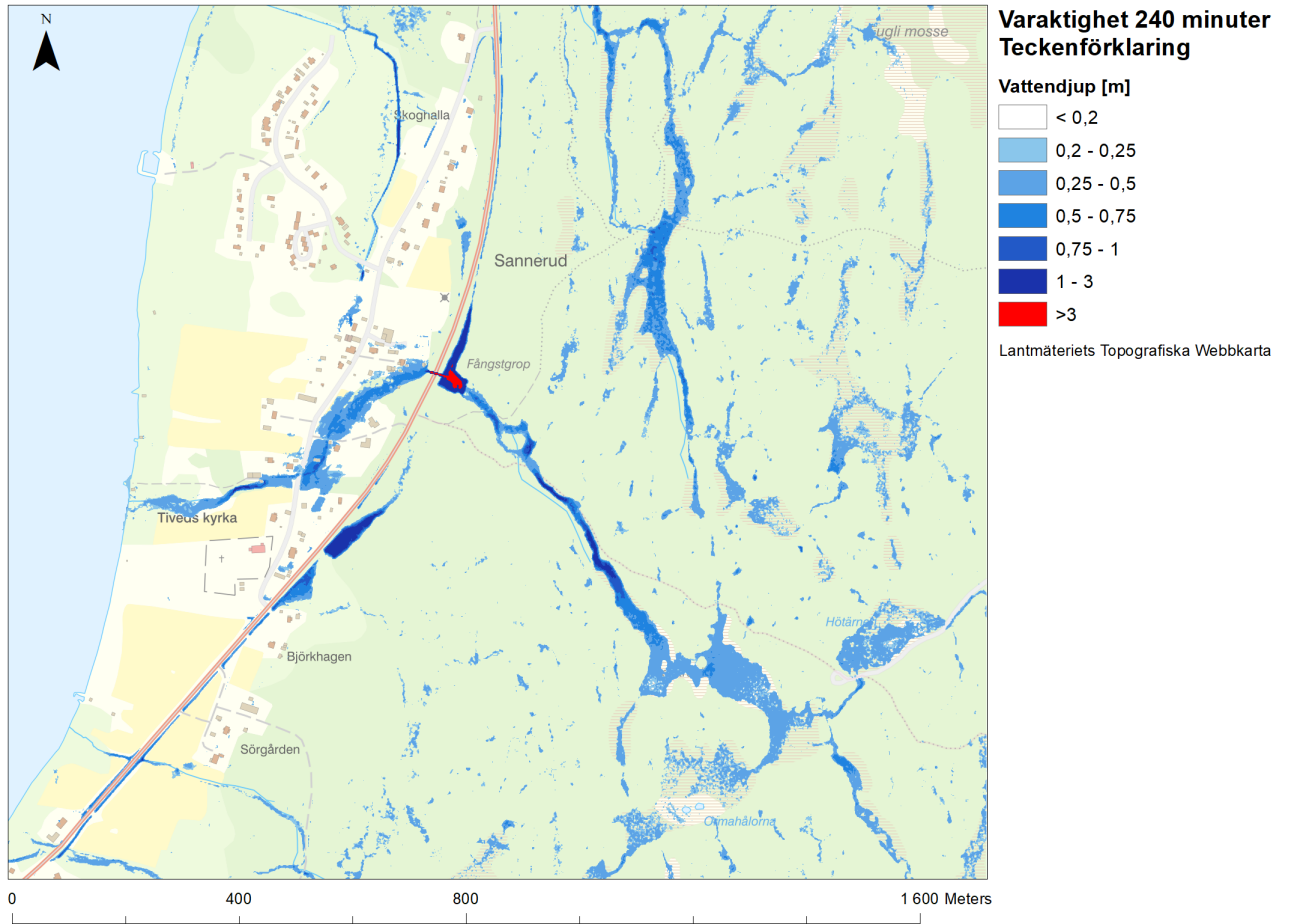
A.1 Tived



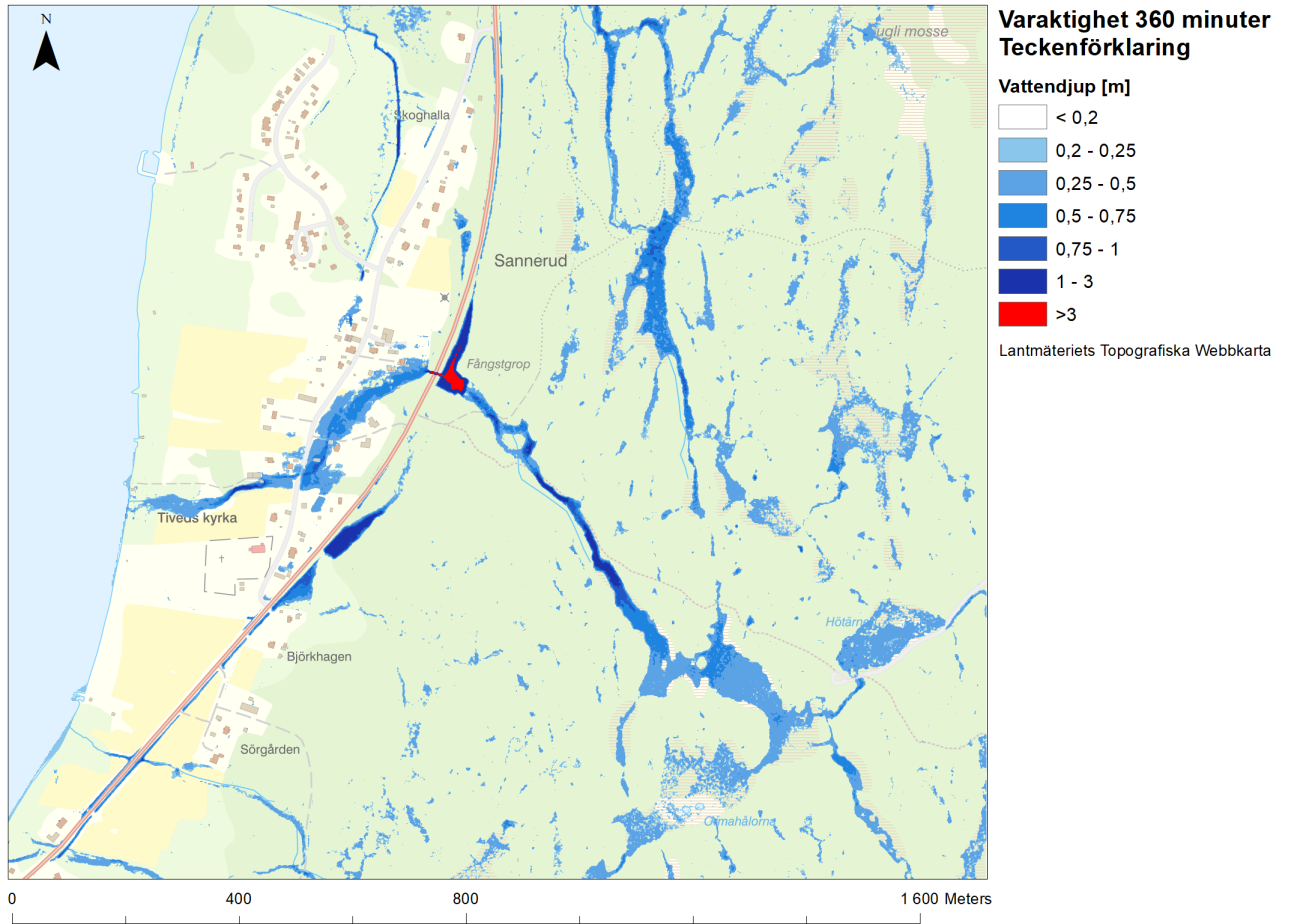
Figur A.1: Maximala vattendjupet för modellen med 95 minuters varaktighet.



Figur A.2: Maximala vattendjupet för modellen med 180 minuters varaktighet.

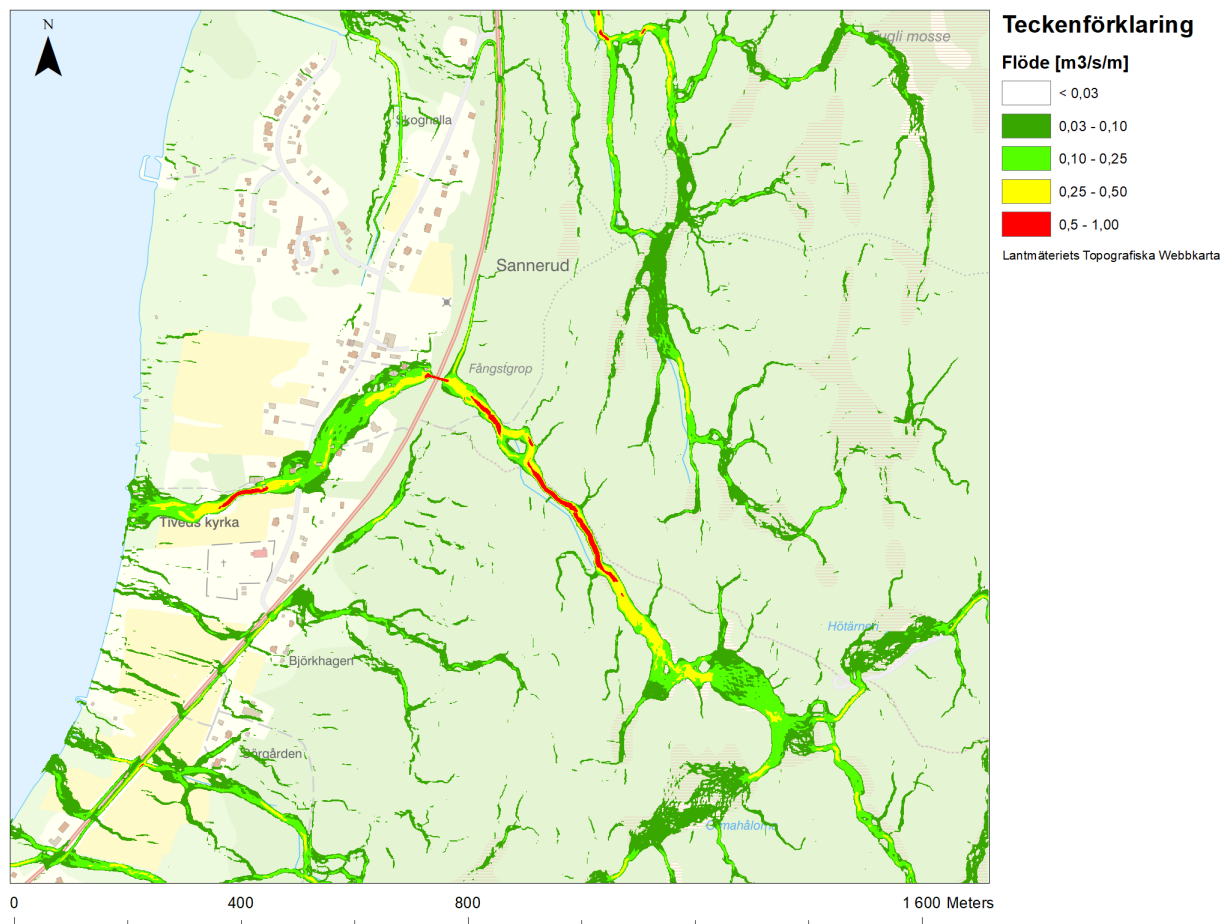


Figur A.3: Maximala vattendjupet för modellen med 240 minuters varaktighet.



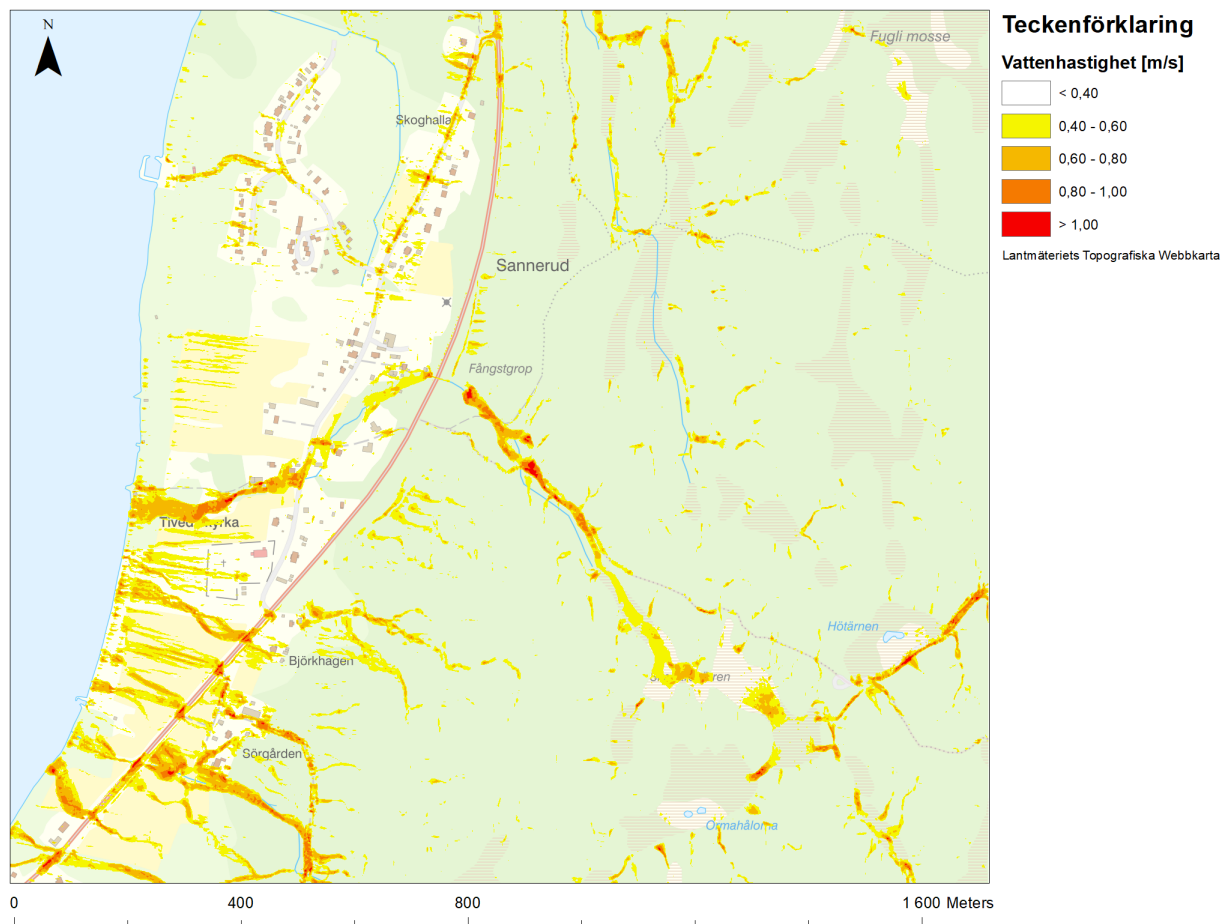
Figur A.4: Maximala vattendjupet för modellen med 360 minuters varaktighet.

Flödeskarta för 360 minuters varaktighet



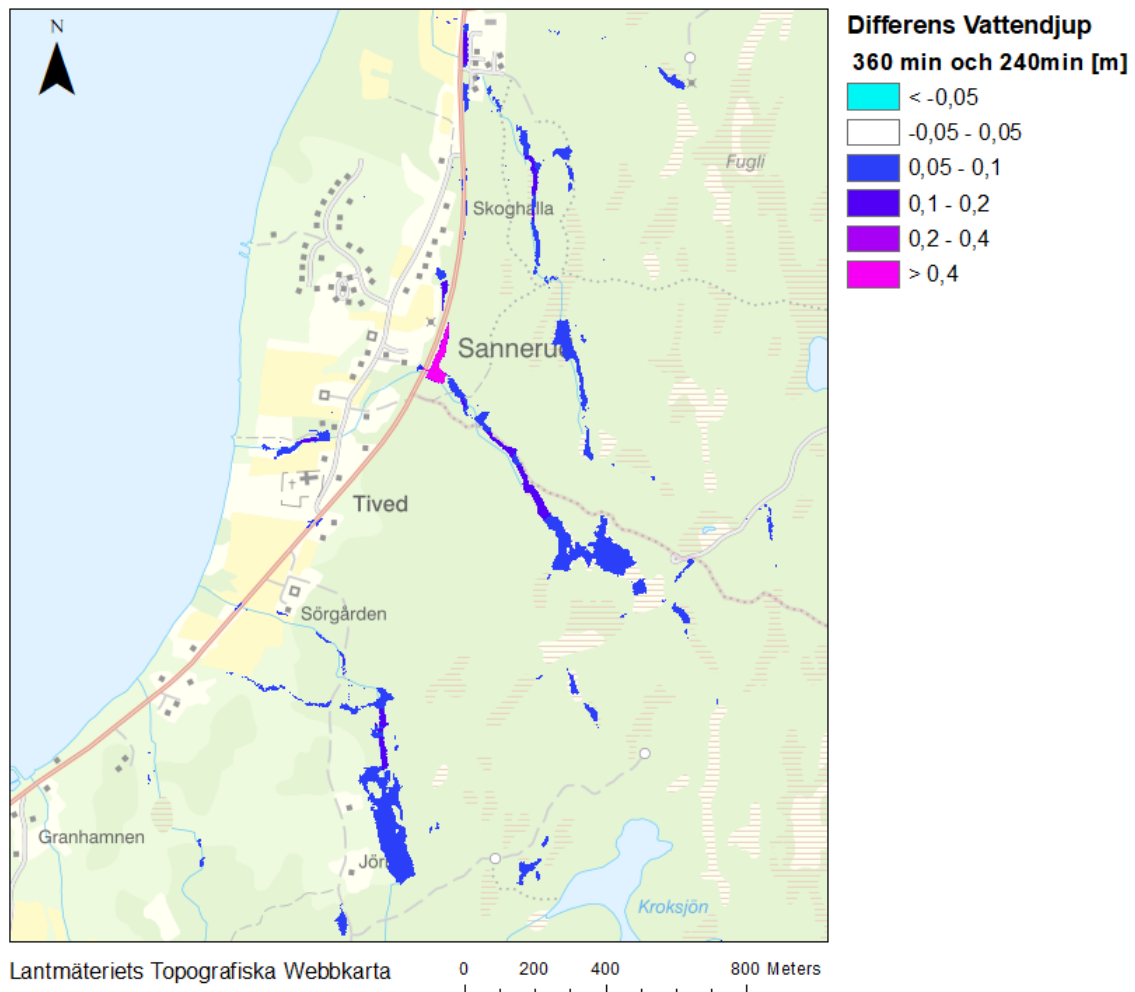
Figur A.5: Maximala flödet för modellen med 360 minuters varaktighet.

Hastighetskarta för 360 minuters varaktighet



Figur A.6: Maximala vattenhastighet för modellen med 360 minuters varaktighet.

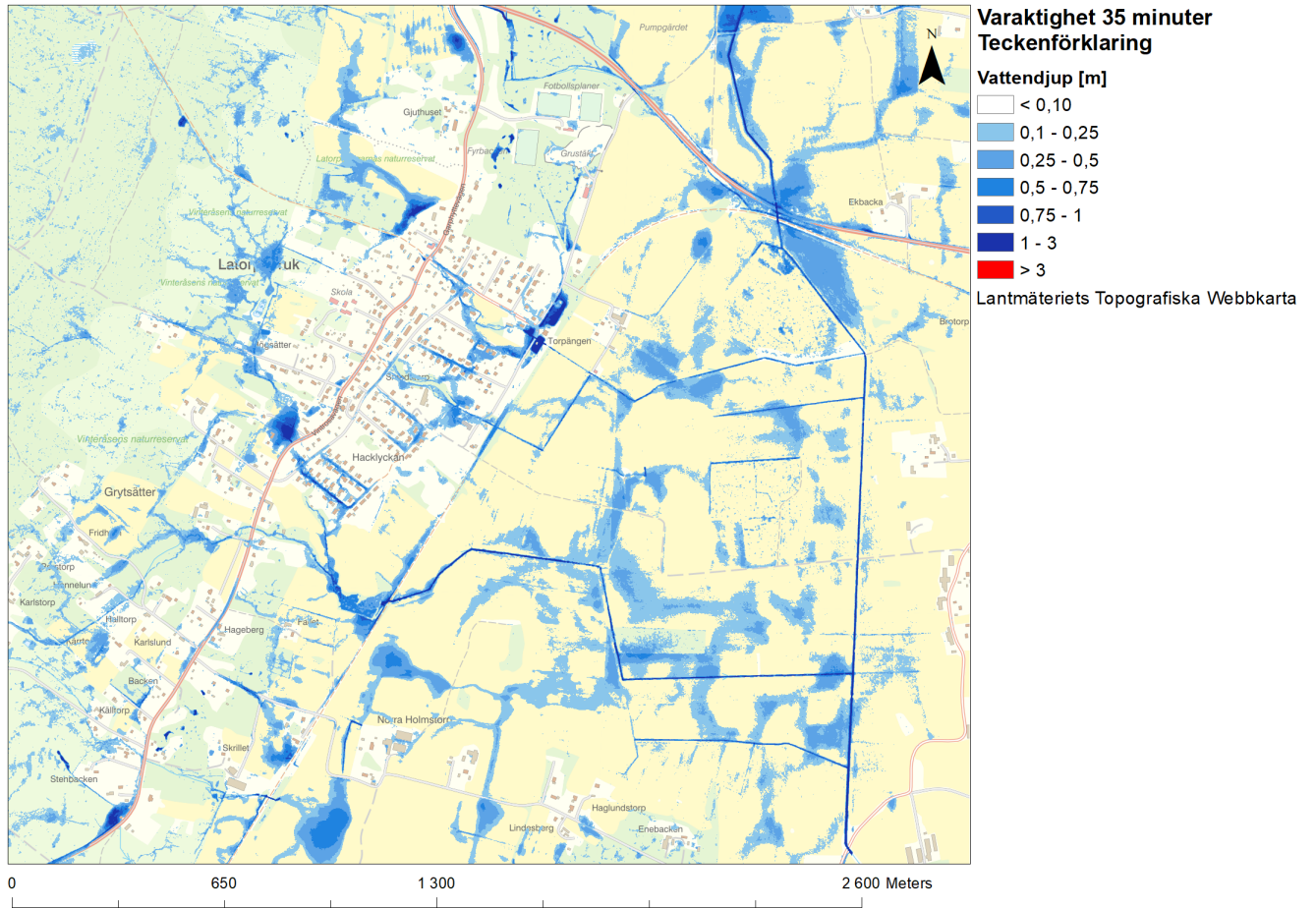
Differenskartan mellan 360 minuter och 240 minuter



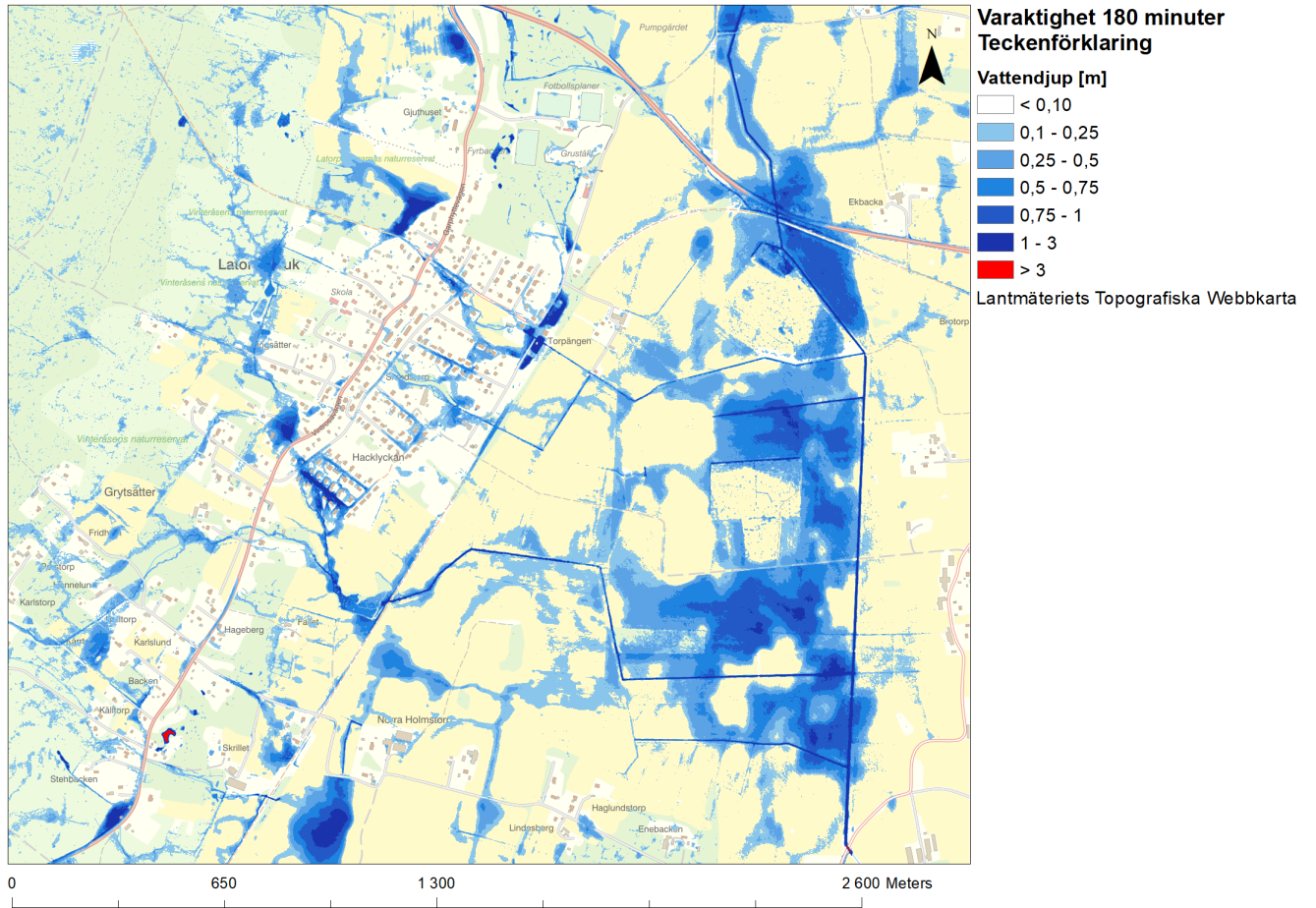
Figur A.7: Differensen i vattendjup mellan varaktigheterna 360 och 240 minuter. Positivt värde visar att vattendjupet ifrån modellen med 360 minuter varaktighet ger större vattendjup och negativa värden visar det motsatta

A.2 Latorp

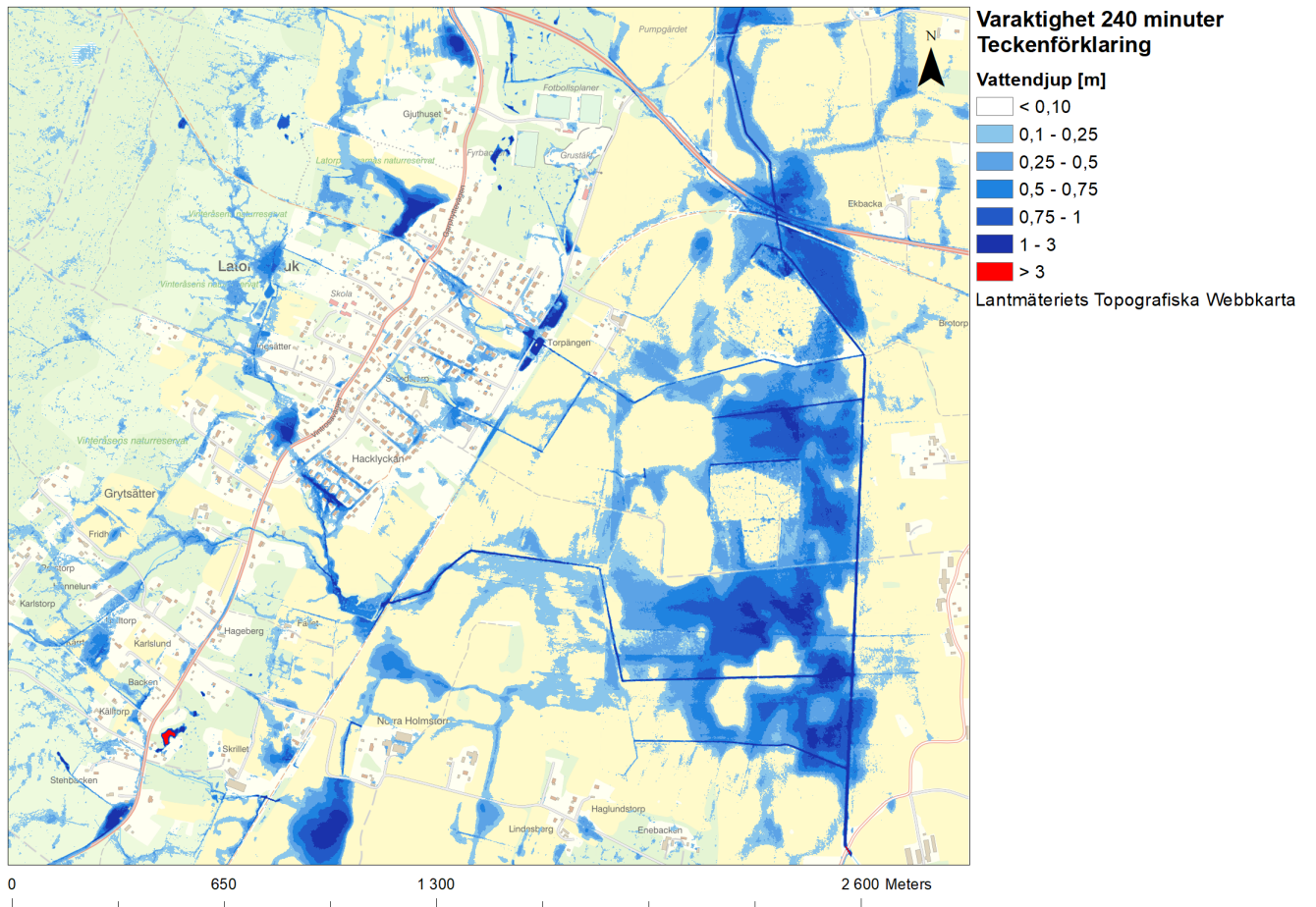
Vattendjup under 0,2 meter, hastigheter under 0,03 m/s och flöden under 0,4 m³/s/m redovisas inte då de anses ha en mindre påverkan på området.



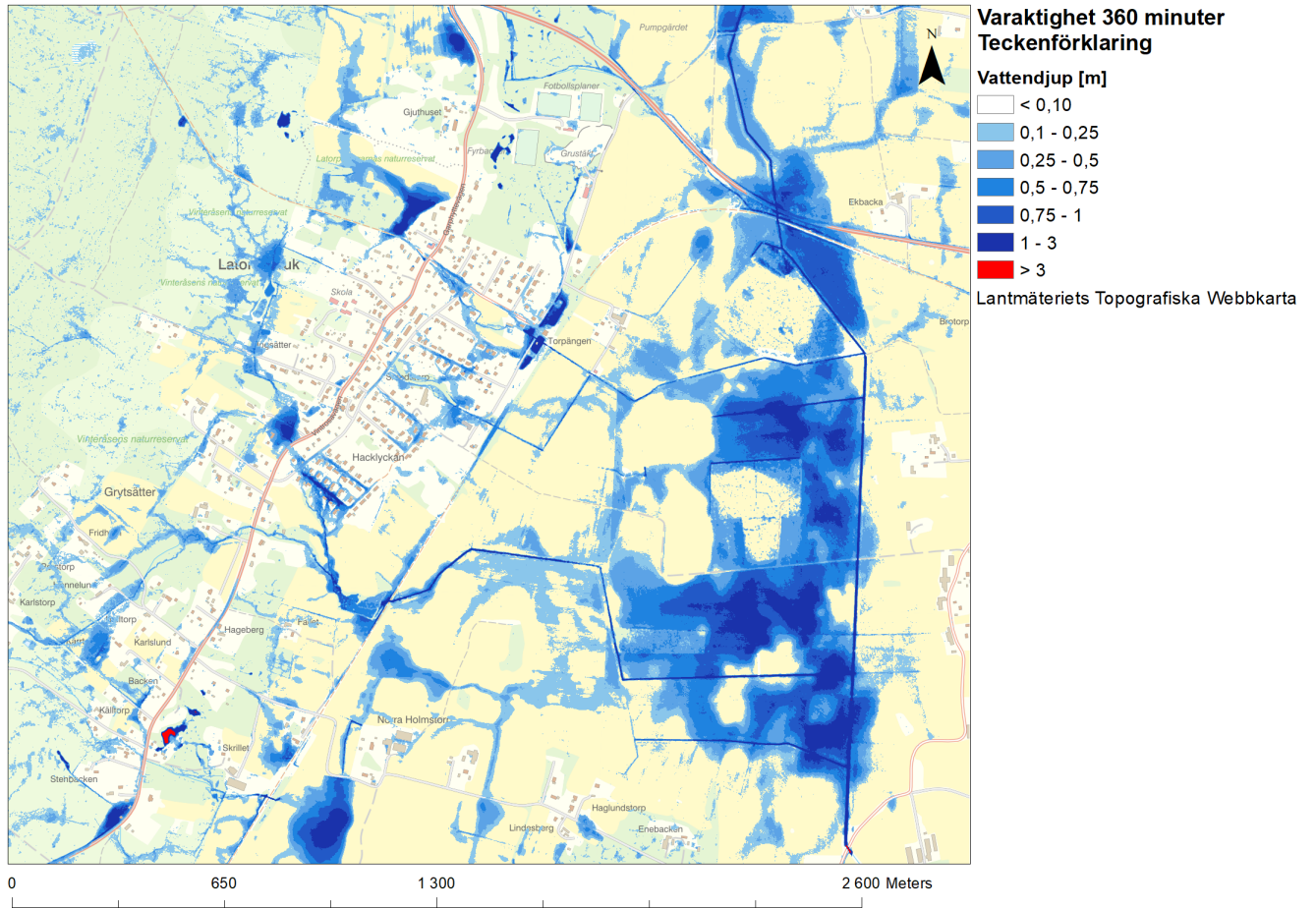
Figur A.8: Maximala vattendjupet för modellen med 35 minuters varaktighet.



Figur A.9: Maximala vattendjupet för modellen med 180 minuters varaktighet.

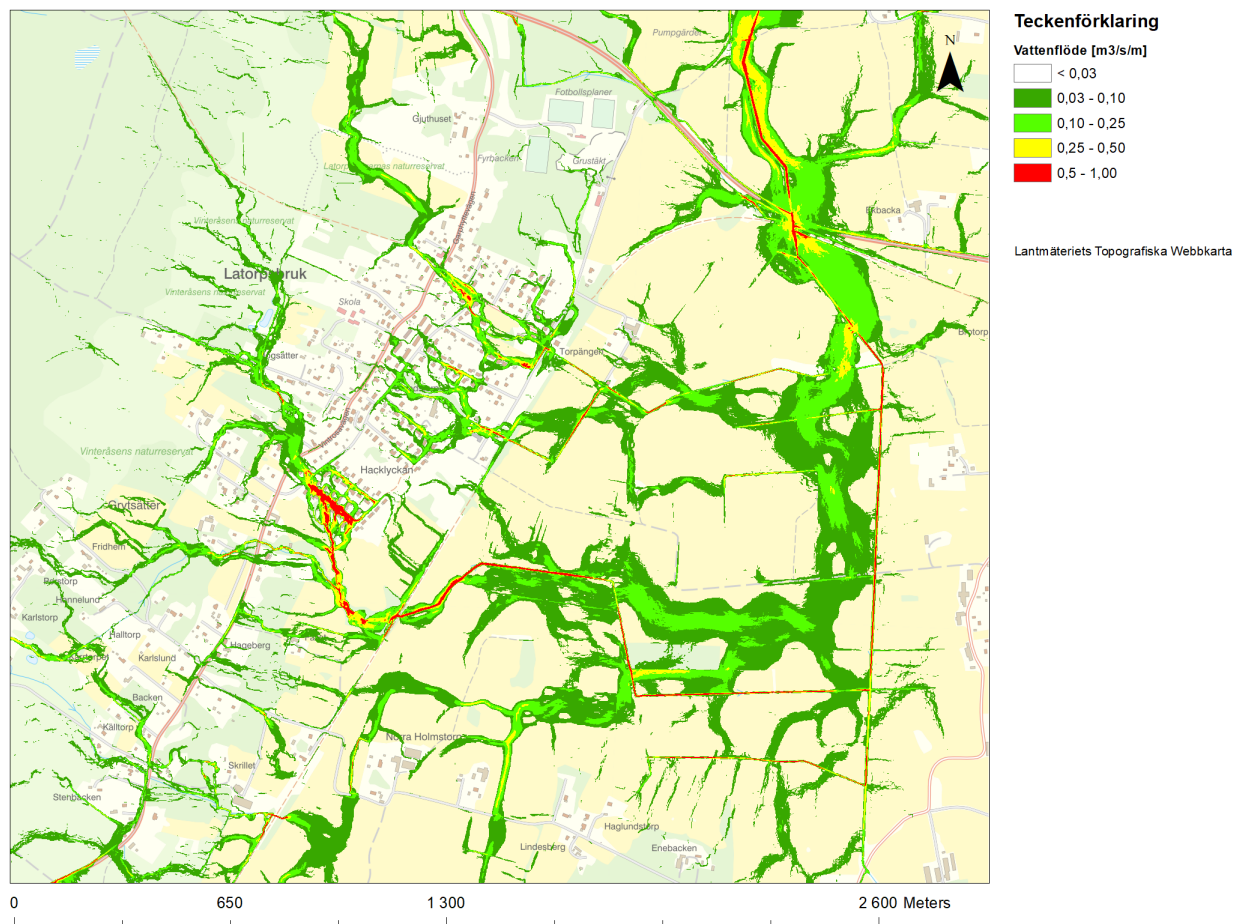


Figur A.10: Maximala vattendjupet för modellen med 240 minuters varaktighet.



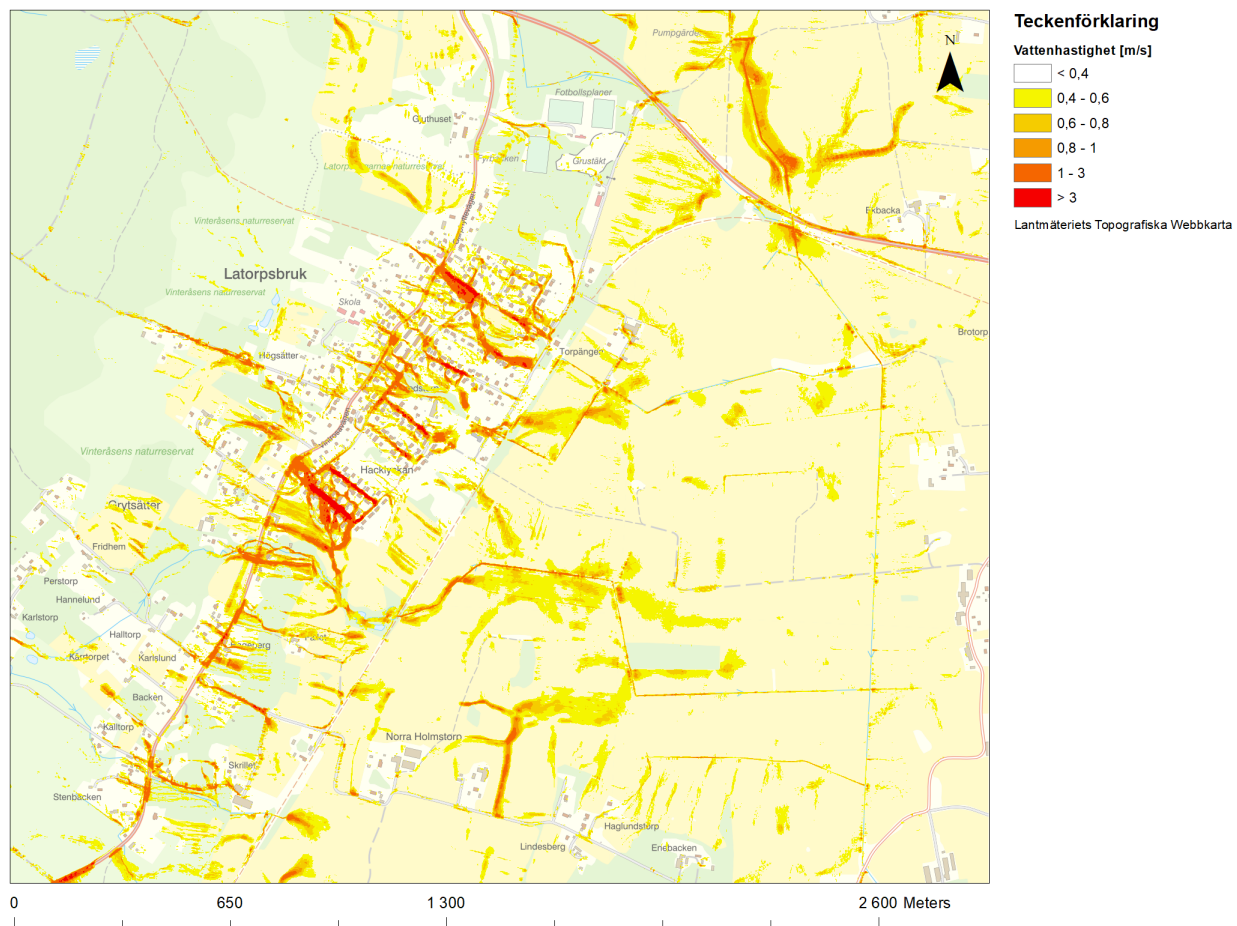
Figur A.11: Maximala vattendjupet för modellen med 360 minuters varaktighet.

Flödeskarta för 360 minuters varaktighet



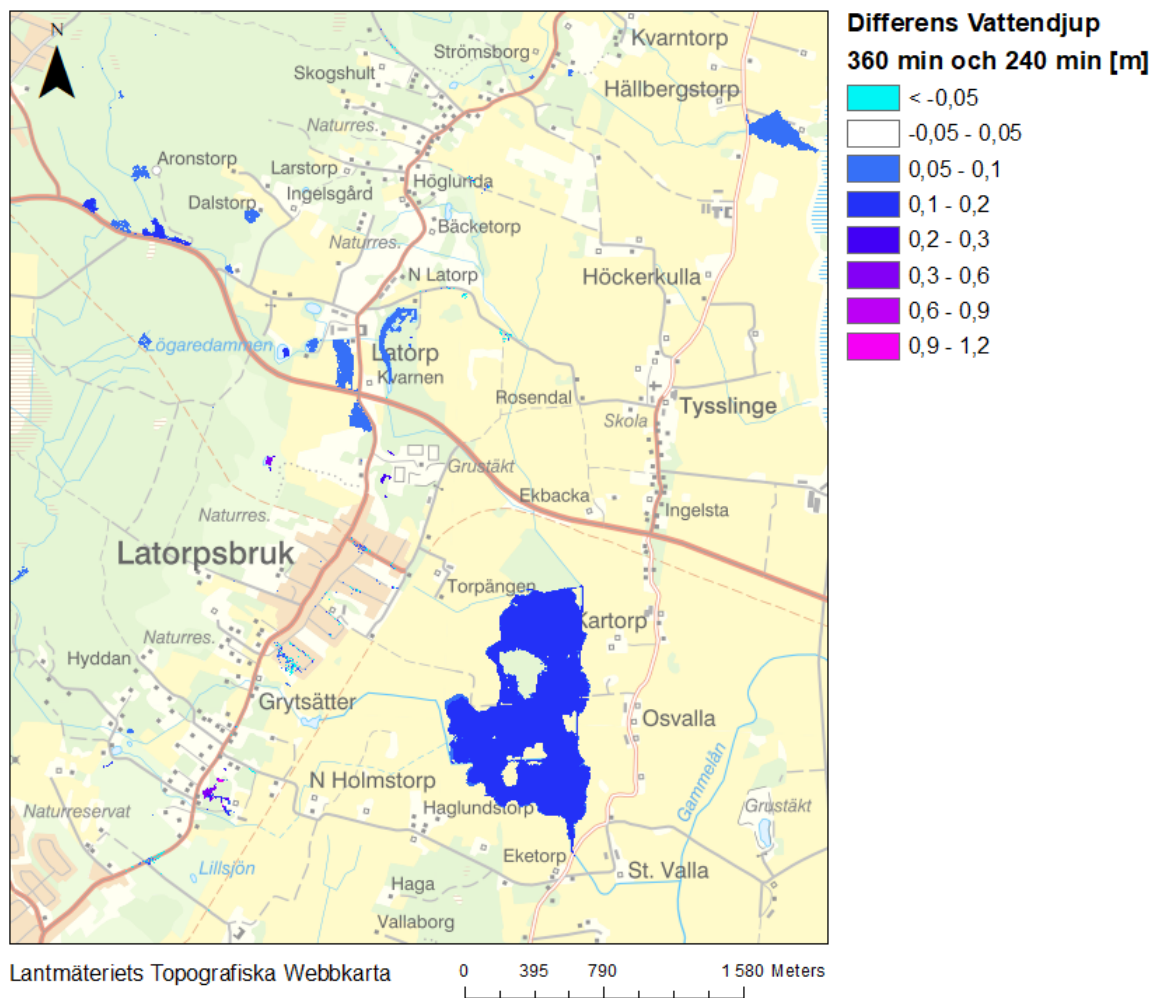
Figur A.12: Maximala flödet för modellen med 360 minuters varaktighet.

Hastighetskarta för 360 minuters varaktighet



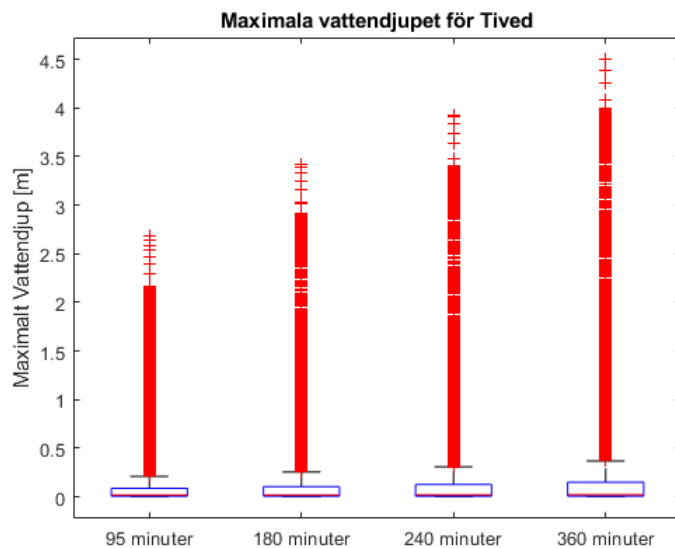
Figur A.13: Maximala vattenhastighet för modellen med 360 minuters varaktighet.

Differenskartan mellan 360 minuter och 240 minuter

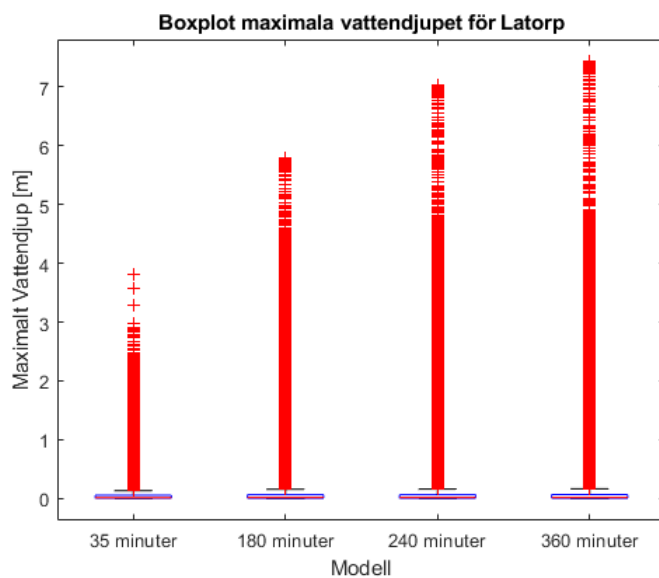


Figur A.14: Differensen i vattendjup mellan varaktigheterna 360 och 240 minuter. Positivt värde visar att vattendjupet ifrån modellen med 360 minuter varaktighet ger större vattendjup och negativa värden visar det motsatt

B BOXPLOTTAR MED OUTLIERS FÖR TIVED OCH LATORP



Figur B.1: Boxplot för maximala vattendjupet i Tived med outliers. Antal datapunkter: $n_{95} = 5\,679\,994$, $n_{180} = 5\,681\,186$, $n_{240} = 5\,681\,776$, $n_{360} = 5\,681\,845$



Figur B.2: Boxplot för maximala vattendjupet i Latorp med outliers. Antal datapunkter: $n_{35} = 5\,682\,653$, $n_{180} = 5\,682\,653$, $n_{240} = 5\,682\,653$, $n_{360} = 5\,682\,653$.