



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 17 022

Examensarbete 30 hp
Juni 2017

Skyfallskartering i Kumla

2D-hydraulisk modellering och känslighetsanalys

Jacob Friman

REFERAT

Skyfallskartering i Kumla - 2D-hydraulisk modellering och känslighetsanalys

Jacob Friman

Översvämningar till följd av intensiva nederbördstillfällen har de senaste åren ökat i antal och omfattning. Dessa händelser förväntas bli vanligare i framtiden och skapa fler översvämningar. Med anledning av detta är det intressant att undersöka hur översvämningar i framtiden breder ut sig och vilka vattennivåer som bildas med förväntad nederbörd. Att modellera översvämningar kräver data som i vissa fall kan vara både tidskrävande och omständigt att införskaffa. Möjliga avgränsningar och antaganden i modellparametrar kan då vara intressanta att göra som fortfarande ger användbara resultat.

En skyfallskartering har genomförts med 2D-hydraulisk modellering i Kumla med programvaran MIKE 21 Flow Model FM. De översvämningsskartor som skapades användes för att identifiera områden i Kumla som riskerar att drabbas av höga vattennivåer till följd av skyfall motsvarande 100- och 200-årsregn. En stor osäkerhet vid modellering av översvämningar är att validera resultaten som fås fram. Ofta saknas information om tidigare översvämningar. De nederbördstillfällen som används är ofta så stora att det saknas data om liknande händelser tidigare. Vid översvämningssmodellering används data som beskriver olika typer av modellparametrar. Dessa kommer med ytterligare osäkerheter som kan göra valideringen problematisk. För att undersöka hur stor effekt olika modellparametrar har på resultatet genomfördes en känslighetsanalys där differenskartor skapades mellan undersökta scenarion och referenskartor.

Skyfallskarteringen visade att stora delar i Kumla drabbas av översvämningar för både ett 100- och 200-årsregn. Området Kumlaby identifierades som känsligt och får höga vattennivåer. Detta beror mest troligt på omgivningens topografi och att Kumlaby underlagras av leror med låg infiltrationskapacitet. I känslighetsanalysen identifierades markens råhet och infiltrationskapacitet vara styrande parametrar för översvämningens utbredning och vattennivåer. Dessa påverkar främst hur höga vattenflöden som uppstår och översvämningens utbredningen och vattennivåer. Kunskap om dessa parametrar är viktigt för att undvika över- eller underskattning av en översvämning.

Användningen av avrinningskoefficienter istället för markens råhet, infiltrationskapacitet och evaporation undersöktes. Differensen i översvämningens utbredning och vattennivåer blev stor i och utanför Kumla tätort. På mindre områden kan det vara mer lämpligt att använda en avrinningskoefficient när en mer detaljerad klassning kan göras av de marktyper som finns. Ett scenario som undersöktes i känslighetsanalysen var installation av gröna tak på alla byggnader i Kumla. Simuleringarna som genomfördes visade att både utbredningen och vattennivåer minskade. Detta till följd av större lagringskapacitet och motstånd mot vattenflöden som kommer med gröna tak.

Nyckelord: Skyfallskartering, översvämningssmodellering, 2D-hydraulisk modellering, urbana översvämningar, MIKE 21 Flow Model FM, känslighetsanalys.

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

ABSTRACT

Cloudburst mapping in Kumla - 2D hydraulic modelling and sensitivity analysis.

Jacob Friman

Urban floods caused by intense rainfall have occurred more frequently the last couple of years. These rainfall events are expected to become more common in the future and create more floods in urban areas. This makes it important to investigate the extent and water levels from urban floods in the future. In order to simulate floods, different types of data is needed. This data can be both time consuming and difficult to obtain. With this in mind, it is interesting to investigate possible simplifications and assumptions of model parameters.

A cloud burst mapping was made with 2D hydraulic modelling in Kumla with the software MIKE 21 Flow Model FM. The flood maps created were used to identify areas in Kumla which have a higher risk of being subject to high water levels. One uncertainty while modelling urban floods is the process of validating the results. There is often a lack of data for the used rainfall events or information from previous floods in the area. In flood modelling data is used which describes different model parameters, these comes with additional uncertainties and can make the validation more difficult. A sensitivity analysis was made to be able to examine effects on the results from variations in model parameters.

The cloud burst mapping showed that large parts of Kumla will be affected by water levels which goes up to 1 m. The area Kumlabý was identified as being sensitive for high water levels. This is due to placement of Kumlabý below higher ground which causes water to flow toward Kumlabý. The ground below is mostly made up of clay which has low infiltration capacity. In the sensitivity analysis the bed resistance and infiltration capacity were identified as governing parameters regarding the extent and water levels of urban floods. In order to avoid over- or underestimation of floods it is important to have knowledge about these parameters in the model area.

The use of a runoff coefficient instead of bed resistance, infiltration and evaporation were examined. The difference of the resulting flood were large in the whole model area. In smaller areas a runoff coefficient could be used with better results when a more detailed description can be made of the surfaces in the area. A scenario where green roofs were assumed to have been installed on all buildings in Kumla were examined. The simulations showed that both the extent and water levels decreased. This due to the fact that green roofs have a capacity to store water and delay flows of water.

Key words: Cloud burst mapping, flood modelling, 2D hydraulic modelling, urban flooding, MIKE 21 Flow Model FM, sensitivity analysis.

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

FÖRORD

Detta examensarbete omfattar 30 högskolepoäng och avslutar fem års studier på Civilingenjörsprogrammet i Miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Arbetet har utförts i samarbete med Norconsult under vårterminen 2017. Handledare var Magnus Jewert, teknisk konsult i Team Vattenbyggnad på Norconsult. Ämnesgranskare var Rickard Petterson, universitetslektor vid Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten- och landskapslära vid Uppsala universitet. Examinator var Anna Sjöblom, universitetslektor vid Institutionen för geovetenskaper vid Uppsala universitet.

Jag vill först och främst tacka min handledare Magnus Jewert och Jonas Persson på Norconsult som bidragit med hjälp vid skapandet av den hydrauliska modellen och agerat bollplank när frågor dykt upp. Ett stort tack till min ämnesgranskare Rickard Petterson som varit ett konstant stöd och varit till stor hjälp under hela examensarbetet. Ett stort tack vill jag även rikta till övriga på Norconsult för att ha försett mig med en dator, välkomnat och fått mig känna mig hemma på kontoret i Uppsala. Sten Blomgren på DHI som gett mig studentlicens för programvarorna MIKE.

Som avslutning vill jag även tacka min familj och mina vänner som varit ett stöd under examensarbetet och hela min studietid vid Miljö- och vattenteknik.

Uppsala, maj 2017

Jacob Friman

Copyright © Jacob Friman, Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten- och landskapslära, Uppsala universitet
UPTEC W 17 022, ISSN 1401-5765
Digitalt publicerad vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala Universitet,
Uppsala 2017.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Översvämningar har de senaste åren inträffat allt oftare till följd av intensiva nederbördstillfällena, så kallade skyfall. Dessa får stora konsekvenser i urbana miljöer där en stor del av markytan består av hårdgjorda ytor så som asfalt och byggnader. När det finns många hårdgjorda ytor hamnar en större del av den nederbörd som faller ovanpå markytan och resulterar i större översvämningar. Konsekvenserna av översvämningar kan vara direkta och ekonomiskt mätbara skador på infrastruktur eller byggnader. De kan även vara mer svåra att mäta så som sjukdomsspridning eller förlust av liv. I framtiden förväntas mängden nederbörd öka och händelser som skyfall inträffa oftare. Detta leder då till att översvämningar och de negativa konsekvenser som uppstår blir än större. Det är därmed viktigt att skapa en uppfattning om hur översvämningars utbredning ser ut med framtidens klimat.

En skyfallskartering syftar till att undersöka platser som riskerar att drabbas av höga vattennivåer efter ett skyfall. En sådan kartering kan göras med en enkel modell som använder höjddata och på så sätt beräkna var områden som riskerar att drabbas av översvämningar finns. Mer komplicerade modeller kan användas som tar hänsyn till egenskaper i marken och flödesvägar för vatten. Dessa ger då ett resultat av ett översvänningsförlopp som baseras på olika typer av data. Med hjälp av skyfallskartering kan en plan skapas för hur översvämningar ska hanteras och planera åtgärder som minskar negativa konsekvenser. Den data som krävs för att använda mer komplicerade modeller kan ibland vara tidskrävande att införskaffa, med anledning av detta kan det vara önskvärt att göra förenklingar som underlättar den modellering som ska genomföras.

I det här arbetet har översvämningar modellerats i Kumla tätort som ligger i Örebro län. Modelleringen har genomförts för nederbördstillfällena med återkomsstider på 100- respektive 200 år. Dessa motsvarar tillfällena som statistiskt inträffar en gång på 100 eller 200 år. Resultatet av modelleringen visar hur en översvämning breder ut sig och hur höga vattennivåer som kan bildas i Kumla. Det är ofta svårt att bekräfta de resultat som fås av en översvänningsmodellering. De nederbördstillfällena som undersöks inträffar sällan vilket gör att information inte finns tillgänglig för jämförelser.

Vid översvänningsmodellering används data som beskriver olika typer av modellparametrar. För att undersöka hur mycket dessa parametrar påverkar resultatet från modellering genomfördes en känslighetsanalys. I analysen undersöktes markens egenskaper som beskriver hur stort motstånd som finns mot vattenflöden på ytan, markens råhet. Samt markens kapacitet att infiltrera vatten ned genom markytan. Även användningen av en så kallad avrinningskoefficient undersöktes. En avrinningskoefficient beskriver hur stor del av nederbörden som rinner av på ytan istället för genom infiltration marken eller försvinner upp i atmosfären genom avdunstning. Ett scenario undersöktes där alla byggnader i Kumla planterat vegetation på taken, gröna tak, som en åtgärd mot negativa konsekvenser av översvämningar.

Skyfallskarteringen gav att stora delar av Kumla drabbas av höga vattennivåer för både ett 100- och 200-årsregn. Vissa områden är extra känsliga där vattennivåerna överstiger 1 m. Ett sådant område är Kumlaby som är belaget mellan två höjder i Kumla vilket innebär att vatten rinner från dessa ned mot Kumlaby. Marken under Kumlaby består till stor del av

lera som innebär att vattnet har svårt att infiltrera ned genom marken och istället stannar kvar på markytan.

I känslighetsanalysen identifierades både markens råhet och förmåga att infiltrera vatten vara styrande för resultatet från modelleringen. Att ha kunskap om dessa parametrar är viktigt för att undvika över- eller underskattning av översvämningar. Från känslighetsanalysen sågs även att en avrinningskoefficient är mer lämplig att använda på mindre områden när olika typer av ytor kan beskrivas mer detaljerat. I scenariot när vegetation installerats på alla byggnader i Kumla blev den resulterande översvämningen mindre. Detta då vegetationen skapar ett motstånd mot vattenflöden och har en kapacitet att lagra vatten och då fördröja en viss del av nederbörden.

Innehåll

Referat	I
Abstract	II
Förord	III
Populärvetenskaplig sammanfattning	IV
1 Inledning	1
1.1 Syfte	1
1.2 Frågeställningar	1
1.3 Avgränsningar	1
2 Teori	2
2.1 Nederbörd	2
2.2 Översvämningar	2
2.3 Hållbar dagvattenhantering	3
2.3.1 Gröna tak	4
2.4 Beredskapsplanering för skyfall	5
3 Översvämningsmodellering	6
3.1 Analys av lågpunkter	6
3.2 2D hydraulisk beräkning	6
3.3 1D hydraulisk beräkning av ledningsnät och vattenvägar	6
3.4 2D hydrodynamisk beräkning med ledningsnät	6
3.5 MIKE 21 Flow Model FM	7
3.5.1 Beräkningsnät	8
3.5.2 Nederbörd	9
3.5.3 Markens råhet	10
3.5.4 Infiltration	11
3.5.5 Avrinningskoefficient	11
3.5.6 Flood and Dry	12
4 Material och metod	13
4.1 Områdesbeskrivning	13
4.2 Lågpunktskartering	13
4.3 2D Hydraulisk modellering	15
4.3.1 Beräkningsnät	15
4.3.2 Nederbörd	16
4.3.3 Markens råhet	17
4.3.4 Infiltration	18
4.3.5 Modelluppställning	19
4.4 Känslighetsanalys	20
4.4.1 Markens råhet	20
4.4.2 Infiltration	21

4.4.3	Avrinningskoefficient	21
4.4.4	Flood and Dry	22
5	Resultat	23
5.1	Lågpunktskartering	23
5.2	2D hydraulisk modell	24
5.3	Känslighetsanalys	26
5.4	Utvalda områden	39
6	Diskussion	40
6.1	Lågpunktskartering	40
6.2	2D hydraulisk modell	40
6.2.1	Modelluppställning och val av parametervärden	41
6.3	Känslighetsanalys	42
6.3.1	Markens råhet	42
6.3.2	Infiltrationskapacitet	43
6.3.3	Avrinningskoefficient	44
6.3.4	Flood and Dry	45
6.4	Osäkerheter	45
6.4.1	Data	45
6.4.2	Validering	47
7	Slutsatser	47
	Referenser	49
	Appendix A - Översvänningskartor	I

1 INLEDNING

De senaste åren har intensiva nederbördstillfällena på grund av skyfall, inträffat allt oftare i Sverige. Dessa förväntas bli allt vanligare i framtiden och som konsekvens skapa översvämningar. Med prognosen att översvämningar blir ett vanligare fenomen i framtiden antogs 2007 EU:s översvänningsdirektiv med syftet att skapa ett ramverk för bedömning och hantering av risker med översvämningar. Samt minska de negativa konsekvenser på hälsa, miljö, ekonomi och kultur som uppstår. Direktivet följs upp i Sverige med hjälp av översvänningsförordningen (SFS 2009:956) som tagits fram av regeringen och Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). Med hjälp av dessa verktyg ska översvänningskänsliga områden identifieras, en översvänningskartering genomföras samt skapa en beredskapsplan mot översvämningar för dessa områden (MSB, 2014a).

Intensiva nederbördstillfällena är tillsammans med snösmältning de största orsakerna till att översvämningar bildas i Sverige (SMHI, 2015a). Det är därför intressant att genomföra skyfallskarteringar som ger en bild över omfattningen av översvämningar som bildas. Enklare analyser kan genomföras med lågpunktskartering. I en sådan kartering saknas den dynamik som finns i ett översvänningsförlopp vilket gör en översvänningsmodellering intressant att genomföra (Hernebring & Mårtensson, 2013). Resultatet kan sedan användas för planering av samhällsviktiga funktioner och åtgärder mot översvämningar. För att resultatet av en skyfallskartering ska vara användbar krävs att den data som används har tillräckligt hög kvalitet. Införskaffandet av data kan vara en tidskrävande och dyr process vilket gör det önskvärt att kunna använda sig av förenklingar vid modellering där det är möjligt. Med anledning av detta är det intressant att undersöka vilken påverkan olika modellparametrar har på resultatet.

1.1 SYFTE

Syftet är att genomföra en skyfallskartering och modellera hur en översvämning breder ut sig till följd av ett intensivt nederbördstillfälle i Kumla tätort. Arbetet syftar även till att göra en känslighetsanalys av den framtagna modellen för att identifiera vilka parametrar som är styrande och hur olika åtgärder kan påverka utbredning och vattennivåer av översvämningar i Kumla.

1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR

- Hur stor översvämning bildas i Kumla tätort med avseende på utbredning och vattennivå till följd av ett skyfall motsvarande ett 100-års respektive 200-årsregn?
- Vilka modellparametrar är styrande för modellering av översvämningars utbredning i Kumla och hur en stor påverkan har dessa resultatet?
- Hur stor påverkan får åtgärder mot översvämningar på resultatet av modelleringen?

1.3 AVGRÄNSNINGAR

- Vilken påverkan översvämningar har på vattenkvalitet undersöks inte i arbetet.
- Inga urbana strukturer har tagits med i modelleringen förutom byggnader som finns med i GSD-Fastighetskartan från Lantmäteriet samt kriminalanstalten i Kumla.
- Ledningsnätet för dagvatten i Kumla antas vara tomt vid skyfallets början och ett schablonmässigt avdrag görs för att ta hänsyn till kapaciteten hos ledningsnätet.

2 TEORI

2.1 NEDERBÖRD

Nederbörd är en av de parametrar som bidrar mest till uppkomsten av översvämningar. Normalt mäts nederbörd i mm och beskriver hur stor volym som fallit i form av vatten per ytenhet. För att ta hänsyn till nederbördens intensitet kan mätningar göras i mm/h per ytenhet (SMHI, 2015b). Ett skyfall är ett intensivt nederbördstillfälle som enligt Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) definieras ha en intensitet med minst 50 mm/h eller 1 mm/minut (SMHI, 2015c).

Med hjälp av historiska mätserier för nederbörd är det möjligt att beräkna nederbördstillfällena i form av återkomsstider som beskriver hur stor sannolikheten är att ett regn med en viss intensitet inträffar. Begreppet återkomsstid används vid fysisk planering av urbana miljöer och dimensionering för dagvattensystem. Normalt används nederbördstillfällena med en återkomsttid på 10, 100 och i extrema fall 200 år beroende på vad som ska dimensioneras (Svenskt Vatten, 2016). Regnintensiteten för svenska orter kan beräknas med hjälp av det samband för intensitet och varaktighet (ekvation 1) som tagits fram av Dahlström (2010). Ekvationen är inte lämplig att använda för nederbördstillfällena med varaktigheter längre än ett dygn (Svenskt Vatten, 2004). i_τ beskriver regnintensiteten i l/s-ha, T beskriver återkomsttiden i månader och T_R beskriver nederbördens varaktighet i minuter.

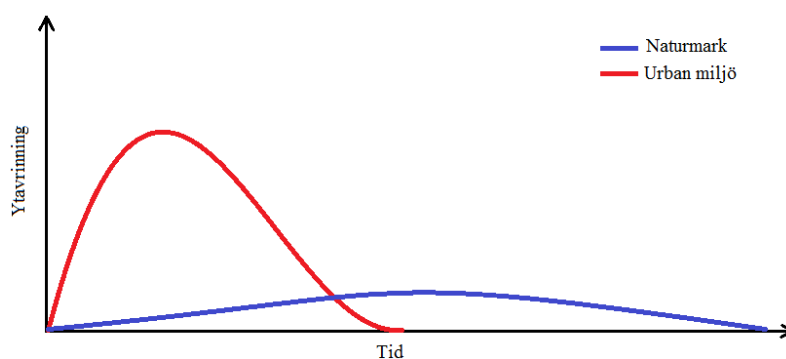
$$i_\tau = 190 \cdot \sqrt[3]{T} \cdot \frac{\ln(T_R)}{T_R^{0.98}} + 2 \quad (1)$$

Från IPCC:s rapporter om klimatförändringar i framtiden förväntas extrema nederbördstillfällena som skyfall öka på grund av att mer vatten återfinns i atmosfären. Dessa förändringar måste då tas hänsyn till vid samhällsplanering och dimensionering i framtiden. Det görs genom att en klimatkfaktor multipliceras till beräknade regnintensiteter. SMHI har gjort en bedömning att använda en klimatkfaktor som baseras på en förväntad ökning av nederbörd fram till år 2100. Den klimatkfaktor som rekommenderas är 1,25 för nederbördstillfällena som har en kortare varaktighet än en timme. För längre varaktigheter rekommenderas att en klimatkfaktor på 1,2 används. Bestämningen av denna en klimatkfaktor är baserad på kunskapsläget 2015 av SMHI och kan komma att förändras i framtiden (Svenskt Vatten, 2016).

2.2 ÖVERSVÄMNINGAR

Översvämningar är en naturkatastrof som sker i hela världen och skördar årligen många dödsoffer. SMHI definierar en översvämning som att landområden som normalt är torra ställs under vatten. I Sverige bildas översvämningar främst av ökade vattenmängder i sjöar och vattendrag till följd av intensiv nederbörd eller snösmältning (SMHI, 2015a).

Risken för att översvämningar inträffar ökar om det finns en stor del hårdgjorda ytor i området. Detta är något som sker vid skapande av urbana miljöer när byggnader och vägar tar plats istället för naturmark. Med hårdgjorda ytor kan inte den nederbörd som faller på marken infiltrera ned i marken utan rinner istället av på ytan. Det gör att avrinningsförlopp (figur 1) i urbana miljöer blir intensivare under en kortare period, till skillnad från naturmark där avrinningen kan ske under en längre tid med en lägre intensitet (Hernebring & Mårtensson, 2013).



Figur 1. Illustration av skillnaden mellan ytavrinningsförlopp i urban miljö och i naturmark. I en urban miljö sker ytavrinningen under en kortare tid med högre intensitet. I en naturmark sker ytavrinningen över en längre tid med lägre intensitet.

De skador som uppkommer till följd av översvämningar delas normalt upp i direkta eller indirekta skador. Direkta skador är de som uppkommer i samband med en översvämning, dessa kan exempelvis vara skador på byggnader eller infrastruktur. Indirekta skador är de som sker på en annan plats eller en tid efter översvämningen, exempel kan vara trafikstörningar eller förlust av inkomst till följd av produktionsstopp. Direkta eller indirekta skador kan sedan delas upp i tangibla eller intangibla skador. Tangibla skador är sådana som går att mäta direkt och har ofta ett visst ekonomiskt värde. Det kan vara kostnader för uppbyggnad av skadad infrastruktur. Intangibla skador kan inte mätas ekonomiskt på samma sätt. De kan istället vara spridning av sjukdomar eller föroreningar, ökad sårbarhet efter översvämningar eller förlust av liv (Messner et al., 2007, Hernebring & Mårtensson, 2013).

Att hantera översvämningar kommer med många svårigheter, ofta handlar det om vilka prioriteringar som behöver göras. WMO (2009) skriver om ett antal utmaningar som försvårar arbetet med hanteringen av översvämningar. Den främsta utmaningen som dyker upp och som i slutändan även ska vara syftet med de åtgärder som sätts in är att rädda liv. Det kan vara direkt i anslutning till översvämningar men även via sjukdomsspridning som är en vanlig följd av översvämningar. Ytterligare utmaningar som nämns är illusionen om absolut säkerhet och vilken påverkan urbana miljöer och klimatförändringar har på översvämningar. Det är i praktiken omöjligt att uppnå ett totalt skydd mot översvämningar då det alltid kommer finnas extrema väderförhållanden. Istället för att skapa åtgärder som kan inge en falsk trygghet mot översvämningar kan lösningen ligga i att ha en plan för hur extrema händelser ska hanteras. Dessa planer bör ta hänsyn till förväntade klimatförändringar i framtiden och effekterna av större mängd hårdgjorda ytor som kan bidra till en ökad markavrinning (WMO, 2009).

2.3 HÅLLBAR DAGVATTENHANTERING

Hanteringen av dagvatten är ett viktigt verktyg för att motverka översvämningar i urbana miljöer. Det sker främst genom avledning genom antingen rör, via öppna diken eller fördröjande magasin. Dessa dimensioneras för att ha en kapacitet som motsvarar ett regn med viss återkomsttid, normalt 5 - 10 år beroende på vilken typ av bebyggelse som finns (Svenskt Vatten, 2017). Idag används begreppet Hållbar dagvattenhantering vid samhällsplanering. Begreppet syftar till att skapa en dagvattenhantering som liknar den avrinning

som sker i naturmark. Hållbar dagvattenhantering ämnar att minska konsekvenserna av översvämningar i urbana miljöer i form av retention av flöden eller genom ökad infiltration (Svenskt Vatten, 2016).

Med retentionsbaserade tekniker fördröjs höga vattenflöden. Normalt görs detta genom att skapa magasin som har en kapacitet att lagra vatten. Andra sätt att skapa en fördröjning är att förändra kapaciteten hos vattendrag så dessa kan hantera högre vattenflöden. En sådan åtgärd kan dock ha stora effekter på lokala ekosystem och riskerar även att problem med översvämningar enbart förflyttas till en annan plats upp- eller nedströms (WMO, 2009).

Infiltrationsbaserade tekniker bygger på att avrinningen ska minska genom att få vatten att rinna ned i marken istället för på markytan (Fletcher et al, 2013). Exempel på åtgärder kan vara att göra vägar och andra hårdgjorda ytor mer permeabla eller skapa konstgjord grundvattenbildning. Infiltrationsbaserade tekniker påverkas starkt av markens egenskaper och har en låg effekt på avrinningen om marken har en hög mätnadsgrad sen tidigare som begränsar mängden vatten som kan infiltrera (WMO, 2009).

Oavsett om infiltrations- eller retentionsmetoder används för att förebygga översvämningar behövs trovärdiga prognoser. Dessa är framför allt ett verktyg som kan vara mycket användbart för åtgärder på kort sikt. Vid avrinning i urbana miljöer ställs höga krav på att prognosen kan återge en bra bild av nederbördens volym, intensitet och varaktighet. Skyfall är något som är svårt att förutse långt i förväg då detta är händelser som ofta är väldigt lokalt placerade med en kort varaktighet (Hernebring & Mårtensson, 2013).

2.3.1 Gröna tak

Med gröna tak menas när vegetation planteras på hustak. Anledningar till att skapa gröna tak har historiskt sett främst varit för isolerande ändamål. Idag används de även för att reducera effekter från värmeöar, ökad biologisk mångfald, öka mängden gröna ytor i urbana miljöer, estetiska ändamål, förbättra vattenkvalitet på dagvatten och hantera avrinningen från dagvatten. Användningen av gröna tak för att hantera avrinning från dagvatten är en retentionsbaserad teknik där taken skapar magasin som kan lagra vatten och fördröja höga flöden. Gröna tak kan delas in i två övergripande klasser, intensiva- och extensiva gröna tak (Bengtsson et al., 2005).

Intensiva gröna tak har ett tjockt lager med jord som tillåter större växter och även mindre buskar eller träd att växa. Extensiva gröna tak består av en jordlager som kan vara upp till 15 cm djupt och kan planteras på tak med en lutning på upp till 45°. Här planteras ofta olika typer av mossa eller sedum. Med anledning till det djupare jordlagret hos intensiva gröna tak har dessa en högre kapacitet att lagra vatten, dock kan det krävas insatser som förstärker tak till följd av den ökade belastningen (Mentens et al., 2006).

EPA (2009) genomförde en studie mellan januari till november 2005 som analyserade avrinning från byggnader i Rock Springs, USA. Analyser genomfördes på tre gröna tak, två asfaltstak och ett tak med kombinerad retentionsdel och grönt tak utan växtlighet. Volymen vatten från taken samlades i tunnor och jämfördes mellan de olika taken. Analyserna genomfördes på månatlig basis samt vid individuella oväder. Studien visade att gröna tak har

en förmåga att lagra över 50 % av den totala nederbörden under hela perioden. Gröna tak visade även en förmåga att fördröja och minska toppflöden från intensiva nederbördshändelser. Variationer i hur stor mängd nederbörd som kan lagras beror till stor del på årstid där gröna tak under vintermånader har en lägre lagringskapacitet än under sommarmånader. Oavsett årstid hade de gröna taken en kapacitet att lagra upp till 10 mm nederbörd (EPA, 2009).

2.4 BEREDSKAPSPLANERING FÖR SKYFALL

Svenskt Vatten har tagit fram en rapport med förslag på hur en beredskapsplan för skyfall ska tas fram. En sådan plan ska behandla skyfall innan, under och efter nederbördstillfället. Problematiken med att hitta åtgärder i områden som redan idag löper större risk att drabbas av översvämningar belyses, identifiera vilka roller som finns och vem som har vilket ansvar vid skyfall samt vilka prioriteringar som behöver göras för att få kostandseffektiva åtgärder (Svenskt Vatten, 2017). Här beskrivs endast de delar av rapporten som behandlar beredskapsplanen och inte vilket ansvar som ligger hos olika aktörer.

Vid beredskapsplanering är kris ett begrepp som dyker upp. Med kris menas en händelse som drabbar många människor och har en avvikelse från det normala med allvarliga effekter på vardagliga samhällsfunktioner. Vid arbete med krishantering används principerna för ansvar, likhet och närhet. Dessa innebär att de som normalt ansvarar för en verksamhet har motsvarande ansvar under en kris, att verksamheten i så stor utsträckning som möjligt fungera på liknande sätt och att krisen ska hanteras där den inträffar av de aktörer som är närmast berörda och ansvariga. Vid beredskapsplanering ska även en risk- och sårbarhetsanalys (RSA) sammanställas. En RSA ska beskriva vilka risker och sårbarheter som finns inom kommunens geografiska gränser och samhällsverksamheter som kan ha kritiska beroenden. Att skapa en beredskapsplan för hantering av skyfall är en samhällsfråga som är extra viktig i områden som är känsliga för skyfall. I Svenskt Vatten (2017) presenteras en möjlig arbetsgång för att skapa en beredskapsplan. Först behöver deltagande intressenter samlas för att skapa en arbetsgrupp som tar fram beredskapsplanen. I rapporten redovisas en lista på relevanta intressenter för att skapa en sådan arbetsgrupp. Det är även viktigt att någon av intressenterna har ett övergripande ansvar för beredskapsplaneringen, ett naturlig val blir ofta den aktör som till en stor del berörs av ett skyfall.

Med en arbetsgrupp klar kan arbetet med att ta fram beredskapsplanen påbörjas. Vilken ambitionsnivå som finns för förberedelse och arbete under ett skyfall ska fastställas och valet av scenarier som ska studeras måste bestämmas. Ofta landar dessa i att bestämma återkomsttider för nederbörd. En kartering måste göras för att få fram vilken utbredning översvämningar får för de valda scenarierna. Med en sådan kartering kan objekt identifieras som löper risk att drabbas utav skador från en översvämning. Ansvaret för att skapa skyddsåtgärder för dessa kan sedan fördelas. Åtgärderna kan delas upp i förberedda akutåtgärder som kan vara att placera barriärer och leda vatten till mindre känsliga områden. Tillfälliga åtgärder så som att installera backventiler i ledningsnät för dagvatten i väntan på att en ny dimensionering av dessa system installeras. Permanenta investeringar som kan vara förändrade höjdsättningar och nya avledningsvägar för vatten. När riskobjekt och åtgärder är bestämda ska en kostnads-nyttoanalys genomföras för att undersöka om det finns en ekonomisk vinst i åtgärder som sätts in. Eftersom resurserna för åtgärder är

begränsade är det viktigt att dessa implementeras där de får störst effekt på samhällsviktiga verksamheter. Slutligen så ska beredningsplanen kommuniceras ut till allmänheten för att låta de ta del av vad som bestämts. Extra viktigt kan vara att informera om åtgärder som inte kommer vidtas för att ge möjligheten till egna åtgärder för skydd mot skyfall (Svenskt Vatten, 2017).

3 ÖVERSVÄMNINGSMODELLERING

Idag finns olika metoder för modellering av översvämningar. Vilken metod som är lämplig att använda beror på vilken information som finns tillgänglig, hur detaljerad en modell behöver vara eller hur lång tid som finns för analys. Hernebring & Mårtensson (2013) beskriver de mest använda metoderna mer i detalj som sammanfattades kort nedan. De metoder som beskrivs är analys av lågpunkter, 2D hydraulisk beräkning, 1D hydraulisk beräkning av ledningsnät och vattenvägar samt 2D hydrodynamisk beräkning med ledningsnät.

3.1 ANALYS AV LÅGPUNKTER

En enkel metod för att få en överskådlig blick över riskområden för översvämningar och höga vattenflöden är att göra en lågpunktsanalys. Denna kan göras i GIS för att hitta möjliga lågpunkter där vattenmassor kan ansamlas. Resultatet av analysen blir en karta som visar var vatten ansamlas och vattennivåer. Ett vanligt antagande vid lågpunktsanalys är att det inte sker någon infiltration i marken som leder till att en överskattning av vattenmängder kan skapas.

3.2 2D HYDRAULISK BERÄKNING

Med 2D-hydraulisk beräkning kompletteras en lågpunktsanalys med information om hårdgjorda ytor för att beräkna markavrinning. Med denna metod kan flödesriktning- och hastighet beräknas utöver vattennivå. Metoden ger en bra bild av hur översvämningar breder ut sig i urbana miljöer där en stor del av markytan är hårdgjord och har låg infiltrationskapacitet. Något som metoden inte tar hänsyn till är vilken kapacitet befintliga lednings- och avloppsnät har att avleda vattenflöden.

3.3 1D HYDRAULISK BERÄKNING AV LEDNINGSNÄT OCH VATTENVÄGAR

En metod som kombinerar dagvatten som rinner på markytan med ledningsnät. Metoden kopplar samman två 1D-modeller och använder dagvattenbrunnar som koppling mellan modellerna. Resultatet blir en översvämningsskarta som tar hänsyn till ledningsnätets kapacitet. Metoden kan vara tidskrävande då mycket information krävs för att dimensionera magasinering i ledningsnät och flödesvägar korrekt.

3.4 2D HYDRODYNAMISK BERÄKNING MED LEDNINGSNÄT

Genom att kombinera en 2D-modell för markavrinning med en 1D-modell för ledningsnät kan en mer avancerad modell skapas för översvämningar. Dynamiken mellan ledningsnätets förmåga att avleda vatten med den nederbörd som faller på ytan kan då analyseras. Metoden är väldigt tidskrävande då den baseras på olika datakällor och kan ge en mer korrekt bild av ett översvämningförlopp.

Den metod som rekommenderas av Hernebring & Mårtensson (2013) är en 2D-modell för hydraulisk beräkning. Den ger en snabb överblick och behöver inte lika stor mängd

data som vissa andra metoder för att beskriva ytavrinningen vid extrem nederbörd. Anledningen till att en 2D-modell med en 1D-modell för ledningsnät inte rekommenderas är att ledningsnätets påverkan på översvämningar är liten vid extrema nederbördstillfällen.

3.5 MIKE 21 FLOW MODEL FM

MIKE 21 Flow Model FM används för att simulera tvådimensionella vattenflöden- och transporter i kustområden, hav, flodmynningar och ytvatten. MIKE 21 Flow Model FM använder ett flexibelt beräkningsnät vid modellering som baseras på numeriska lösningar av de tvådimensionella Navier-Stokes ekvationerna. Modellen består då av ekvationer som beskriver kontinuitet-, moment-, temperatur-, salinitet- och densitet och kan användas med både kartesiska och sfäriska koordinater (DHI, 2011). I MIKE 21 Flow Model FM sker modellering med olika moduler. Den hydrodynamiska modulen är den grundläggande komponenten som kan kombineras med andra moduler för transport och flöden. Vid modellering av översvämningar på land används modulen *Inland Flooding* som tar hänsyn till bevarande av massa och rörelsemängd enligt ekvationerna 2-4 (DHI, 2016b).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial y} = f\bar{v}h - gh\frac{\partial\eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \\ \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy}) + hu_s S \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = -f\bar{u}h - gh\frac{\partial\eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \\ \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy}) + hv_s S \end{aligned} \quad (4)$$

t	=	Tid
x, y	=	Kartesiska koordinater
\bar{u}, \bar{v}	=	Medelhastighet i x- resp. y-led
η	=	Markytans höjd
h	=	Totalt vattendjup
S	=	Magnitud av flöde från punktkällor
f	=	Coriolis parameter
g	=	Gravitations acceleration
p_a	=	Atmosfärstryck
ρ	=	Vattnets densitet
ρ_0	=	Referensdensitet av vatten
$\tau_{sx}, \tau_{bx}, \tau_{sy}, \tau_{by}$	=	x- och y-komponenter för vind och bottenstryck.
$s_{xx}, s_{xy}, s_{yx}, s_{yy}$	=	Spänningstryck från strålning
T_{xx}, T_{xy}, T_{yy}	=	Sidospänning från friktion

För att modellera i MIKE 21 Flow Model FM behövs grundläggande parametrar som domän, tid och val av moduler. Domänen skapas genom ett beräkningsnät som har en tillräckligt bra kvalitet för den modellering som ska genomföras. I domänen definieras gränser som finns och om justeringar behöver göras i den indata som används till beräkningsnätet. Tiden bestäms genom en start- och sluttid samt ett generellt tidssteg som används i modelleringen. Tidssteget som definieras bestämmer i vilken frekvens utdata kan erhållas för olika moduler och för att synkronisera kopplingar mellan olika moduler. I figur 5.3 från DHI (2011) visas hur det generella tidssteget är relaterade till specifika tidssteg i olika moduler.

Simuleringstiden och noggrannheten bestäms till stor del av vilken lösningsteknik och tidssteg som används. Beräkningarna sker i ytvatten- och transportekvationer som kan göras med hög eller låg ordning. Valet av tidssteg görs även med hänsyn till stabilitet i modellen som bestäms styrs av Courant-Friedrich-Lévy (CFL) numret, mer om det nedan. För att få mer noggranna resultat kan data användas som beskriver när beräkningsceller definieras som torra eller översvämmade, markens råhet och infiltrationsförmåga och även den nederbörd som ska användas i modelleringen. För de gränser som definierats i skapandet av domänen kan randvillkor definieras. Gränser som definierats som stängda innebär att inget flöde kan ske ut och in över gränsen, dessa klassas då som land. Om gränser definierats som öppna kan flera val göras för randvillkor. De är specificerade hastigheter, flöden, vattennivåer eller som Flathervillkor. Det sistnämnda är ett effektivt randvillkor vid nedskalning av modeller och för att undvika instabilitet vid en rand med specifik vattennivå (DHI, 2011).

3.5.1 Beräkningsnät

Beräkningsnätet är en av de viktigaste parametrarna vid 2D-hydraulisk modellering och skapas i verktyget MIKE Zero Mesh Generator med xyz-data som beskriver topografin i modellområdet. Vid skapande av beräkningsnätet är det viktigt att den resulterande filen på ett bra sätt beskriver marknivåer, har en tillräckligt hög noggrannhet och inte ger simuleringstider som är orimligt långa för användaren. För att uppnå detta bör beräkningsnätet bestå av trianglar utan små vinklar, en hög upplösning på områden som är intressanta för modellering. I områden med låg upplösning bör arean inte vara 4 till 10 gånger större än områden med högre upplösning för att skapa tillräckligt bra resultat från simuleringar. Ett beräkningsnät med stora vinklar och en hög upplösning genererar längre simuleringstider och hänsyn måste tas till vilken noggrannhet som krävs vid simuleringar (DHI, 2012).

Upplösningen på beräkningsnätet bestäms av tätheten på de noder där beräkningar sker. Om noderna i beräkningsnätet ligger nära varandra blir upplösningen hög och en bra beskrivning av topografin genereras. Eftersom MIKE 21 Flow Model FM använder sig av ett flexibelt beräkningsnät kan upplösningen variera beroende på vilka området som behöver en mer noggrann beskrivning. För att uppskatta stabila resultat i simuleringarna används CFL-numret (ekvation 5) som villkor för att uppnå konvergens i beräkningarna. CFL-numret ska inte överstiga 1 under simuleringar för att uppnå stabilitet. Simuleringstiden kan således öka för att uppnå stabilitet till följd av ett kortare tidssteg eller en finare upplösning på beräkningsnätet. Att skapa ett beräkningsnät är en iterativ process som kräver många förbättringar för att uppnå ett bra resultat. Det är därför av stor vikt att tid

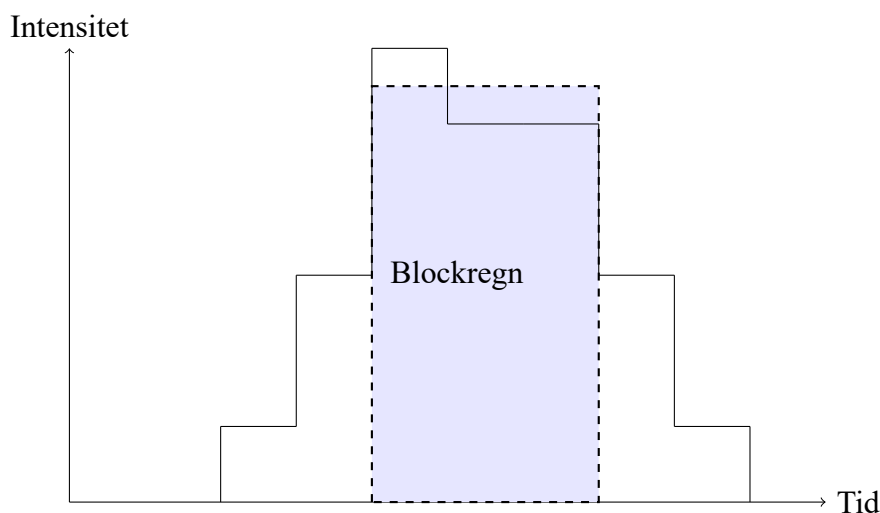
läggs ned för att skapa ett beräkningsnät som på ett korrekt sätt beskriver modellområdet (DHI, 2012).

$$CFL = \left(\sqrt{g \cdot h} + |u| \right) \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x} + \left(\sqrt{g \cdot h} + |v| \right) \cdot \frac{\Delta t}{\Delta y} \quad (5)$$

- g = Gravitation
- h = Vattendjup
- u, v = Hastighet i x- och y-led
- Δt = Tidssteg
- Δx = Rumslig upplösning

3.5.2 Nederbörd

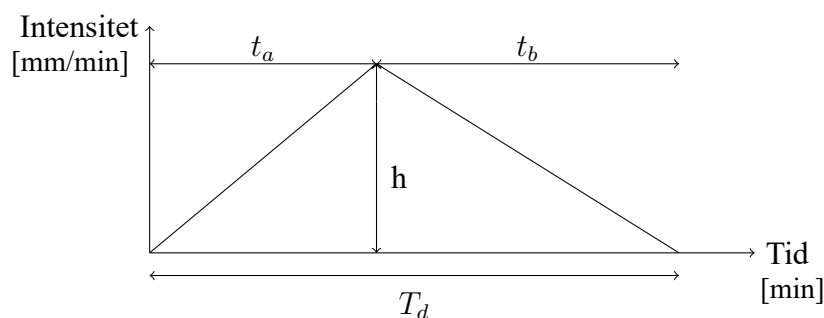
Vid hydraulisk modellering som innehåller nederbörd används ofta ett designregn. Ett sådant designregn kan vara ett så kallat blockregn (figur 2) som baseras på historiska mätserier av nederbörd och använder en konstant medelintensitet under hela regnets varaktighet. Vid skyfallskartering rekommenderas att använda ett regn med en återkomsttid på 100 år. Kapaciteteten från ledningsnätet subtraheras då från regnet då dessa har en liten påverkan på översvämningar vid intensiva nederbördstillfällena (MSB, 2014b).



Figur 2. Illustration av ett blockregn skapat ur ett teoretiskt nederbördstillfälle. Regnets intensitet är ett medelvärde för nederbörden under den varaktighet som används.

För att inkludera variationer i regnintensitet över tid kan en hyetograf (figur 3) användas istället. En sådan skapas genom att för en given återkomsttid beräkna maxintensiteten (ekvation 6), h , under nederbördstillfället. P är regnets volym i mm och T_d regnets varaktighet i minuter. Placeringen av h bestäms av kvoten mellan tiden före, t_a , och tiden efter t_b regnets maxintensitet. Tiderna före och efter maxintensiteten tas fram historiska mätserier av nederbördstillfällena med olika intensiteter (Chow et al., 1988).

$$h = \frac{2P}{T_d} \quad (6)$$



Figur 3. Illustration av en hyetograf för att beskriva regnintensitet som varierar över tid. Den beräknade maximala intensiteten, h , inträffar ungefär i mitten av nederbördens varaktighet, T_d . Tiden före och efter den maximala intensiteten beskrivs av t_a och t_b .

3.5.3 Markens råhet

Markens råhet beskriver hur stort motstånd som finns på ytan för vattenflöde. Råheten beskrivs ofta med Mannings tal, M . Med hjälp av Mannings tal kan flödes hastigheten (ekvation 7) bestämmas. Ett högt värde på Mannings tal innebär att flödes hastigheterna ökar. Det leder i sin tur till att översvämningars utbredning blir större medan vattennivåerna blir lägre. Låga värden på Mannings tal ger istället lägre flödes hastigheter och leder till mindre utbredning med högre vattennivåer (MSB, 2014b).

$$v = M \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I} \quad (7)$$

v	=	Flödes hastighet	[m/s]
M	=	Mannings tal	[m ^{1/3} /s]
R	=	Hydraulisk radie	[m]
I	=	Lutning	[m/m]

Vid 2D-hydraulisk modellering påverkar Mannings tal hur stor utbredningen av översvämningar blir. Bestämning av Mannings tal för olika marktyper kräver en analys av de ytor som finns modellområdet. Vägverket (2008) har tagit fram rekommenderade värden (tabell 1) för olika marktyper. För att få så korrekta resultat som möjligt är det viktigt att ha kunskap om hur de olika ytorna som finns i modellområdet ser ut. Detta kan dock vara tidskrävande och en mer övergripande kalibrering kan göras genom att använda data på befintlig markanvändning för identifiering av marktyper och bestämning av Mannings tal (MSB, 2014b).

Tabell 1. Mannings tal för marktyper (Vägverket, 2008).

Markyta	Mannings tal
Slät asfalt	80 - 85
Grov asfalt	70 - 75
Grusyta	40 - 50
Kort gräs	30 - 35
Långt gräs	25 - 30

3.5.4 Infiltration

Infiltrationen i marken är ett mått på hur snabbt vatten kan transporteras ned genom markytan till underliggande jordlager och anges vanligen med enheten m/s. Infiltrationsförmågan beror till stor del på vilka olika ytor som finns. På hårdgjorda ytor så som asfalt och hustak kan infiltrationen antas vara noll. Infiltrationen påverkas även av vilken jordart som finns under ytan, packningsgrad, kornstorleksfördelning och mättnadsgraden i marken. Finkorniga jordarter som lera och silt har en lägre infiltrationskapacitet än grovkorniga jordarter som grus och sand (MSB, 2014b). Hur stor infiltrationskapacitet som finns i en jord bestäms främst utifrån dess kornstorlek och kan göras genom fält- eller laborationsförsök (Larsson, 2008).

3.5.5 Avrinningskoefficient

Avrinningskoefficienten beskriver hur stor del av nederbörden som rinner av på ytan när faktorer som avdunstning, infiltration och magasinering i markens ojämnheter tagits bort. Avrinningskoefficienten ökar med högre lutning, större andel hårdgjorda ytor eller nederbörd med hög intensitet. Även jordarter påverkar avrinningskoefficienten. Om jorden är löst packad eller har en hög förmåga att infiltrera vatten minskar avrinningskoefficienten. Hänsyn måste även tas till att marken kan bli vattenmättad som gör att avrinningskoefficienten snabbt ökar (Vägverket, 2008).

För bestämma avrinningskoefficienter behöver de ytor som finns i området identifieras. Vägverket (2008) har tagit fram värden för avrinningskoefficienter (tabell 2) för olika typer av marktyper. Värdena baseras på regn med en återkomsttid på 10 år. Om ett regn med 100 års återkomsttid används ska koefficienten multipliceras med en klimatfaktor 1,25. Dock ska värdet aldrig överstiga 1 då det skulle innebära att det mer vatten rinner av på ytan än vad som tillkommer. En sammanvägd avrinningskoefficient kan beräknas (ekvation 8) för ett större område som innehåller flera olika marktyper (Vägverket, 2008).

Tabell 2. Avrinningskoefficienter, φ , för olika typer av ytor (Vägverket, 2008).

Typ av yta	φ
Tak och byggnader	0,9
Betong och asfalt, berg i dagen med stark lutning	0,8
Stensatt yta	0,7
Grusväg, starkt lutande parkområde	0,4
Berg i dagen med låg lutning	0,3
Grusplan med grusad gång	0,2
Grönytor och odlad mark	0,1

$$\varphi = \frac{A_1 \cdot \varphi_1 + A_2 \cdot \varphi_2 + \dots + A_n \cdot \varphi_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} A_i &= \text{Area} && [\text{m}^2] \\ \varphi_i &= \text{Avrinningskoefficient} && [-] \end{aligned}$$

Svenskt Vatten (2004) har beräknat sammanvägda avrinningskoefficienter (tabell 3) för olika typer av bebyggelse i flack respektive kuperad terräng. Siffrorna är baserade på bebyggelse från 1970-talet och dessa koefficienter bör därför korrigeras då det idag finns en större andel hårdgjorda ytor. Svenskt Vatten (2013) visar att hårdgöringsgraden i villaområden ökat med ca 10 % sedan 1970-talet. I övriga bebyggelser har det endast skett en marginell ökning av hårdgjorda ytor.

Tabell 3. Sammanvägda avrinningskoefficienter för olika typer av bebyggelse (Svenskt Vatten, 2013).

Tyg av bebyggelse	Avrinningskoefficient	
	Flack terräng	Kuperad terräng
Sluten bebyggelse utan vegetation	0,70	0,90
Sluten bebyggelse med vegetation, industriområden	0,50	0,70
Öppen bebyggelse (flerfamiljhus, radhus)	0,40	0,60
Villor och tomter	0,15 - 0,25	0,25 - 0,35

3.5.6 Flood and Dry

Parametern Flood and Dry används för att definiera vid vilken vattennivå en beräkningscell är översvämmad i MIKE 21 Flow Model FM. För simulering av förhållanden där en översvämning sker till följd av högre vattennivåer i vattendrag eller från intensiv nederbörd används inställningen Advanced flood and dry. För att definiera när en cell ska användas i beräkningar används tre parametrar. Drying depth, h_{dry} , flooding depth, h_{flood} och wetting depth, h_{wet} . Även gränser mellan celler för att se när dessa är översvämmade. Följande kriterium måste uppfyllas för att beräkningar ska kunna genomföras (DHI, 2011).

$$h_{dry} < h_{flood} < h_{wet}$$

Huruvida en cell tas med i beräkningar eller inte avgörs om den är blöt eller torr. En cell definieras som blöt om vattennivån är större än h_{wet} , då beräknas både mass- och momentflöden i cellen. En cell definieras som torr om vattennivån är lägre än h_{dry} och tas då bort från beräkningar. En cell definieras som delvis torr om vattennivån är lägre än h_{wet} och högre än h_{dry} eller om vattennivån är lägre än h_{dry} och en av cellens närliggande gränser är översvämmad. Om värden för h_{wet} är väldigt låga kan stabilitetsproblem uppstå till följd av höga vattenhastigheter i simuleringarna (DHI, 2011). DHI har tagit fram rekommenderade värden (tabell 4) för Flood and Dry som kan användas som utgångspunkt vid simuleringar i MIKE 21 Flow Model FM.

Tabell 4. Rekommenderade värden för Flood and Dry (DHI, 2011a).

Parameter	Värde
h_{dry}	0,005 m
h_{flood}	0,05 m
h_{wet}	0,1 m

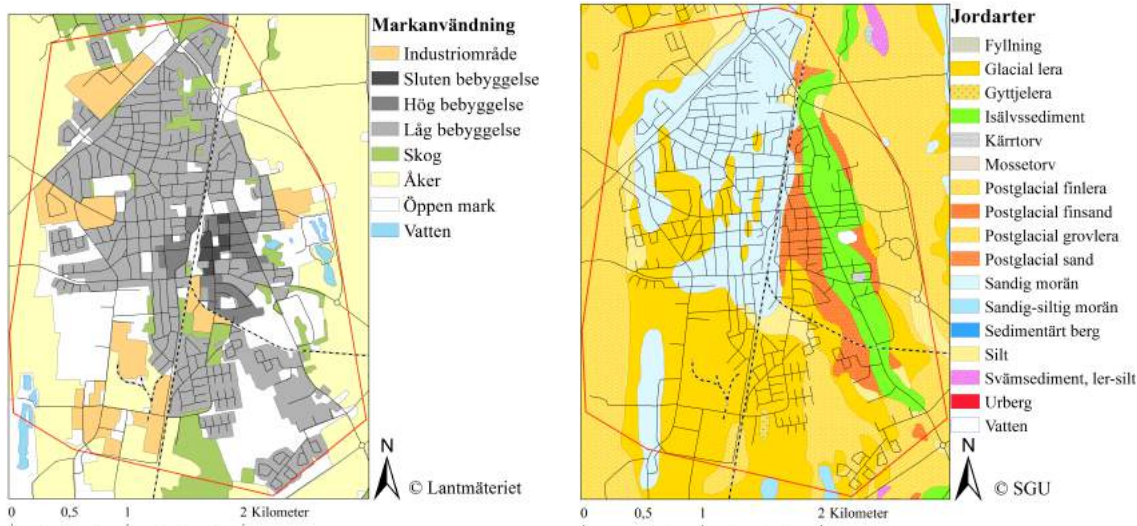
4 MATERIAL OCH METOD

4.1 OMRÅDESBESKRIVNING

Kumla är en kommun i Örebro län med drygt 17 000 invånare (SCB, 2016). En del av Kumla är beläget på Hallsbergs-Kumlaåsan som används som grundvattenmagasin och har goda möjligheter för uttag av dricksvatten (VISS, 2015). Området som används för modellering i MIKE 21 Flow Model FM är markerat med en röd linje i figur 4a och 4b.

Markanvändningen (figur 4a) omkring Kumla består till stor del av åkermark. I tätorten klassas en stor del av markanvändningen som låg bebyggelse, vissa delar av centrala Kumla klassas som hög eller sluten bebyggelse. Markytor som klassats som industriområden och öppen mark finns främst i utkanten av Kumla.

Jordarterna (figur 4b) finns i modellområdet består av isälvsediment och postglacial sand längs med åsen. Övriga delar av Kumla består av sandig morän, glacial lera och vissa inslag av silt och postglacial finlera. Utanför modellområdet består jordarderna till störst del av olika glaciala och postglaciala leror samt isälvsediment där åsen breder ut sig.



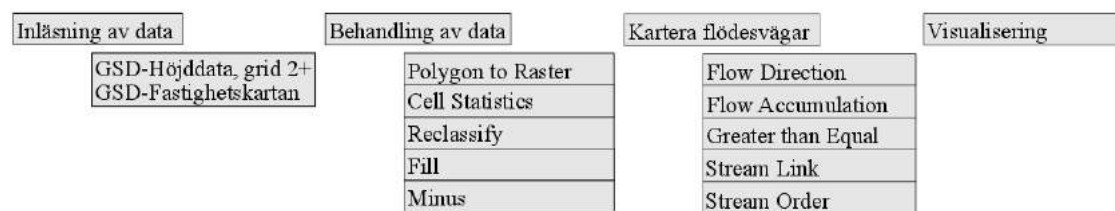
(a). Markanvändning i Kumla. Data kommer från GSD-Fastighetskartan ©Lantmäteriet.

(b). Jordartskarta över Kumla. Data kommer från Jordarter 1:25 000 - 1:1 000 000 ©SGU.

Figur 4. Kartor som visar markanvändning och jordarter i Kumla. Modellområdet som använts ligger inom den röda linjen.

4.2 LÅGPUNKTSKARTERING

En lågpunktskartering genomfördes över Kumla tätort för att identifiera vilka områden som löper högre risk att utsättas för översvämningar. Utförandet (figur 5) har gjorts med hjälp av en metodik som beskrivs av Länsstyrelsen Jönköpings län (2015) i programmet ArcMap. Metodiken ska inte ses som heltäckande för översvämningssmodellering utan ger endast en grov uppskattning av riskområden. Vid lågpunktskartering antas ingen infiltration ske i marken, vilket innebär att allt vatten rinner av på markytan. Metodiken tar ingen hänsyn till dynamiken som finns i skyfall, kapaciteten i befintliga ledningsnät eller strukturen på markytan.



Figur 5. Flödesschema för användning av olika verktyg i ArcMap för lågpunktskartering. Indata till varje nytt verktyg kommer från tidigare steg.

Inläsning av data

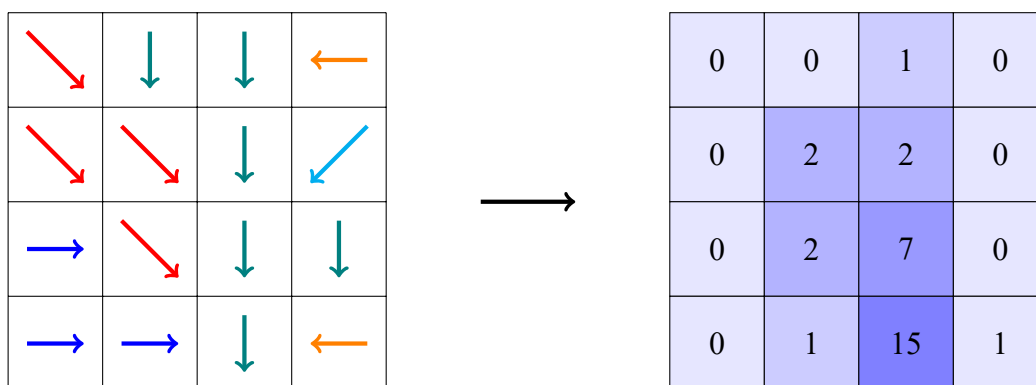
Data kommer från Lantmäteriets kartor GSD-Höjdkarta, grid 2+, GSD-Fastighetskartan och GSD-Ortfoto. Höjdkartan kommer som en rasterfil med upplösning 2x2 m. Medelfelet i höjdkartan är 0,5 m, noggrannheten i höjd är till stor del bättre än 0,1 m med lokala avvikelser där noggrannheten kan vara sämre. Områden med låg noggrannhet kan vara områden med stark lutning eller där marknivån är svår att definiera (Lantmäteriet, 2015). Fastighetskartan kommer som shapefiler och består av bland annat byggnader, vägar och markanvändning. GSD-ortfoto visar en flygbild över området. Alla kartor har koordinatssystem SWEREF99 TM och höjdsystem RH 2000.

Behandling av data

Den importerade datan behandlades med olika verktyg som finns i *Conversion Tools* och *Spatial Analyst Tools*. Byggnader i form av polygoner i GSD-Fastighetskartan konverterades till ett raster med verktyget *Polygon to Raster*. Det nya rastret användes tillsammans med höjdkartan för att skapa ett nytt höjdraster med verktyget *Cell Statistics*. Sedan användes verktyget *Reclassify* för att omklassa celler där vatten inte kan rinna. Dessa celler klassades som NoData och celler där vatten kan rinna klassades med värde 1. Det omklassade lagret kombinerades med den skapade höjdkartan i verktyget *Fill* för att fylla upp celler med lokala sänkor. Verktyget gör att vatten inte kan ansamlas i dessa celler utan transporteras vidare till verkliga lågpunkter. En slutgiltig bearbetad höjdkarta som visar lågpunkter skapades med verktyget *Minus* som subtraherar ett lager från ett annat.

Kartera flödesvägar

För att illustrera vilka vägar vattnet tar till lågpunkter användes verktyg som finns i *Spatial Analyst Tools* → *Hydrology*. Först användes verktyget *Flow Direction* som skapar ett raster som beskriver vilken riktning vatten flödar i varje cell. Från varje cell kan vatten flöda i 8 riktningar som bestäms utifrån högsta lutning till närliggande celler. Verktyget *Flow Accumulation* (figur 6) användes sedan för att skapa ett raster som beskriver hur mycket vatten som rinner till varje cell. Värdet i varje cell beror på hur många celler uppströms som bidrar med flödet. För att identifiera vilka flödesvägar som vattnet tar användes *Greater than Equal* som beräknar vilka celler som har störst flöde. Cellerna ges värde 1 eller 0 beroende på om de har högre eller lika värde som närliggande celler. De skapade rastererna från *Greater than Equal* och *Flow Direction* kombinerades i verktyget *Stream Link* som skapar flödesvägar i området. Dessa graderades med verktyget *Stream Order* som ger värden på de celler där flöde sker beroende på hur högt flöde som sker i varje cell.



Figur 6. Illustration av verktyget *Flow Accumulation* i ArcMap.

Visualisering

De skapade rasterna med lågpunkter och flödesvägar kombinerades med GSD-Ortfoto för att skapa en karta som visualiserar vattnets utbredning och nivå.

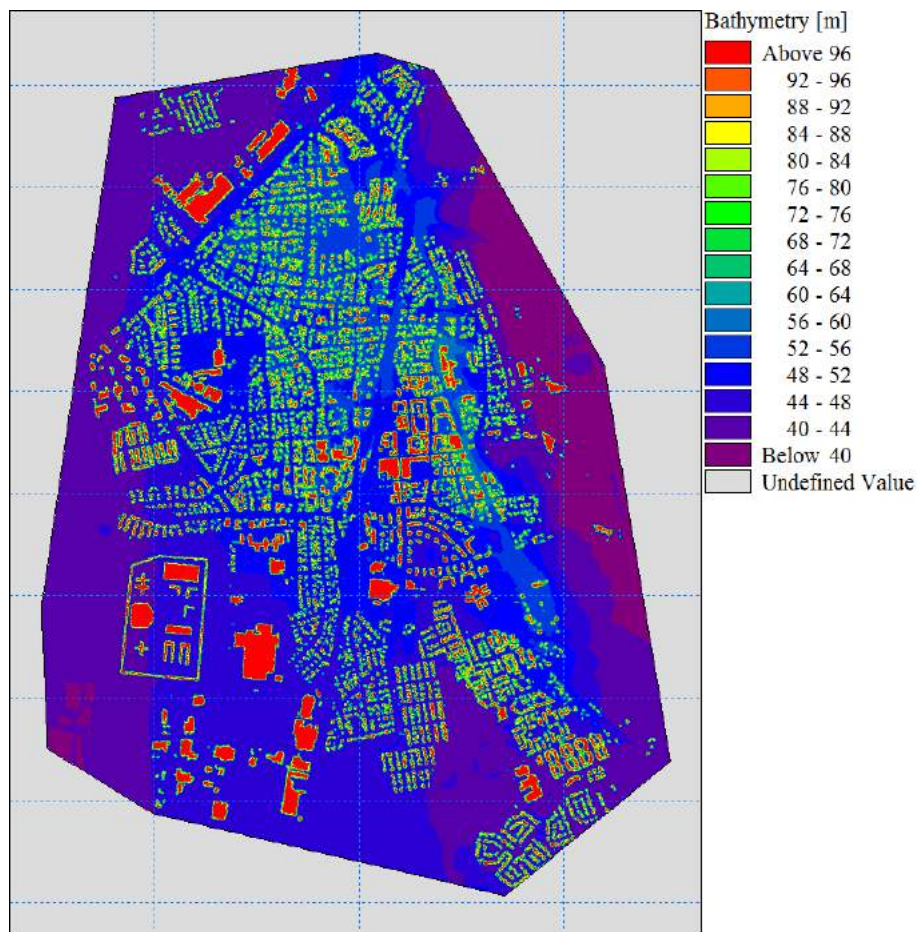
4.3 2D HYDRAULISK MODELLERING

I det här arbetet skapades en 2D-modell för hydraulisk modellering utan koppling till ledningsnät. Modellen skapades i MIKE 21 Flow Model FM. Nedan beskrivs modelluppställningen och val av parametrar som användes.

4.3.1 Beräkningsnät

Beräkningsnätet skapades i MIKE Zero Mesh Generator. Den bearbetade höjdkartan användes för att beskriva topografin i form av en xyz-fil. Byggnader lades in med verktyget Shape2MIKE i form av en shapefil som skapats i ArcMap från GSD-Fastighetskartan, dessa höjdes upp med 100 m för att vatten inte ska rinna igenom eller över byggnader. Kriminalanstalten i Kumla fanns inte beskriven i GSD-Fastighetskartan från Lantmäteriet utan lades in manuellt med hjälp av flygbilder.

Beräkningsnätet (figur 7) skapades med ett triangulär nät med den maximala vinkeln 28° . Beräkningsnätet delades upp i två områden med olika upplösning. Området som ligger till väster om Hallsberg-Kumlaåsen och underlagras av lera fick en finare upplösning för att genomföra mer noggranna beräkningar. Detta på grund av att översvämningarna antogs bli mer omfattande med en lägre infiltrationskapacitet och tillrinning från högre liggande områden på åsen. Den maximala arean på trianglarna i beräkningsnätet sattes i området med fin upplösning till 32 m^2 och i området med grov upplösning till 64 m^2 . Ursprungligen definierades alla gränser i modellen som stängda. Tidiga körningar visade hur vatten ansamlades utmed den västra gränsen varvid den definierades som öppen med en konstant vattenhastighet ut ur modellen.



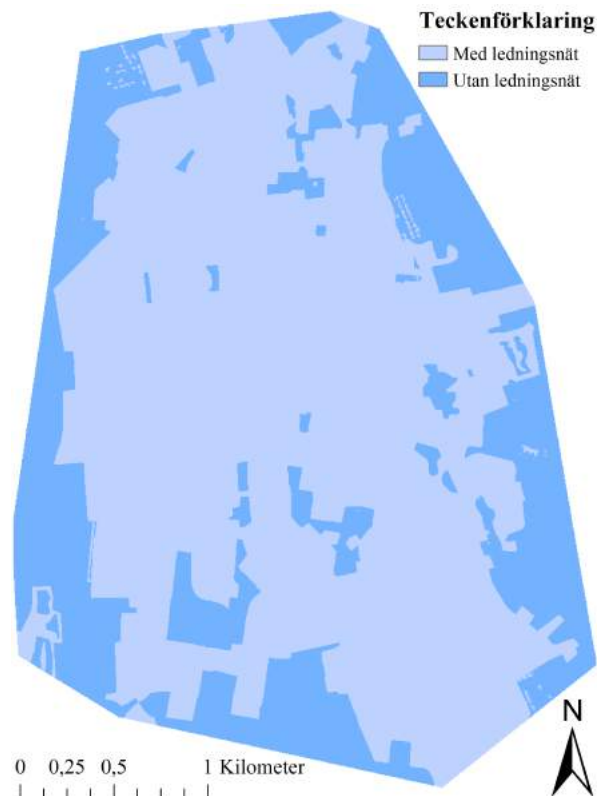
Figur 7. Beräkningsnät skapat i MIKE Zero Mesh Generator som används för modellering i MIKE 21 Flow Model FM. Byggnader har höjts upp med 100 m för att skapa rinnvägar runt dessa. Data kommer från GSD-Höjdkartan och GSD-Fastighetskartan ©Lantmäteriet.

4.3.2 Nederbörd

Designregn har skapats för nederbördstillfällen med återkomsttider på 100- respektive 200 år med ekvation 1. Den maximala intensiteten (tabell 5) beräknades med ekvation 6. Klimatfaktorn 1,25 användes för att ta hänsyn till framtida klimat och kapaciteten hos ledningsnät för dagvatten antogs motsvara ett 10-årsregn. Ett lager skapades i ArcMap där ledningsnätets kapacitet subtraherades från den nederbörden i områden med ledningsnät. Dessa områden identifierades med fastighetskartan från Lantmäteriet och ytor klassade som bebyggelse, industri och öppen mark antogs ha ledningsnät för dagvatten (figur 8).

Tabell 5. Beräknad intensitet och maximal intensitet för nederbörd med återkomsttider på 100- respektive 200 år.

Återkomsttid [år]	Intensitet [mm/h]	Maxintensitet utan ledningsnät [mm/h]	Maxintensitet med ledningsnät [mm/h]
100	111,2	222,3	180,7
200	139,8	279,6	238,0



Figur 8. Karta över område i Kumla som antas ha ledningsnät för dagvatten. Data kommer från GSD-Fastighetskartan ©Lantmäteriet.

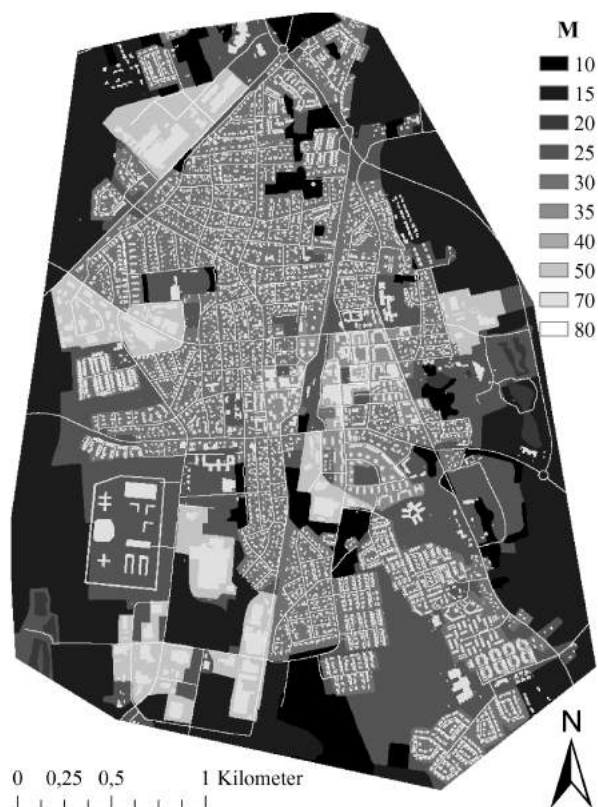
4.3.3 Markens råhet

Markens råhet beskrivs med Mannings tal (tabell 6) för olika marktytor. Värden baseras på Vägverkets (2008) rekommendationer (tabell 1). För de marktytor som inte finns representerade från Vägverket har flygbilder använts för att uppskatta Mannings tal.

Tabell 6. Värden på Mannings tal [$m^{1/3}/s$] som användes för att beskriva markens råhet.

Markyta	Mannings tal
Vägar	80
Byggnader	70
Industriområde	50
Sluten bebyggelse	40
Hög bebyggelse	35
Låg bebyggelse	30
Öppen mark	25
Vatten	20
Skog och åker	10

Ett lager med Mannings tal (figur 9) skapades i ArcMap som användes i den hydrauliska modelleringen. Marktytorna gavs respektive värde och exporterades till en textfil som sedan konverterades till en dfs2-fil som användes i MIKE 21 Flow Model FM.



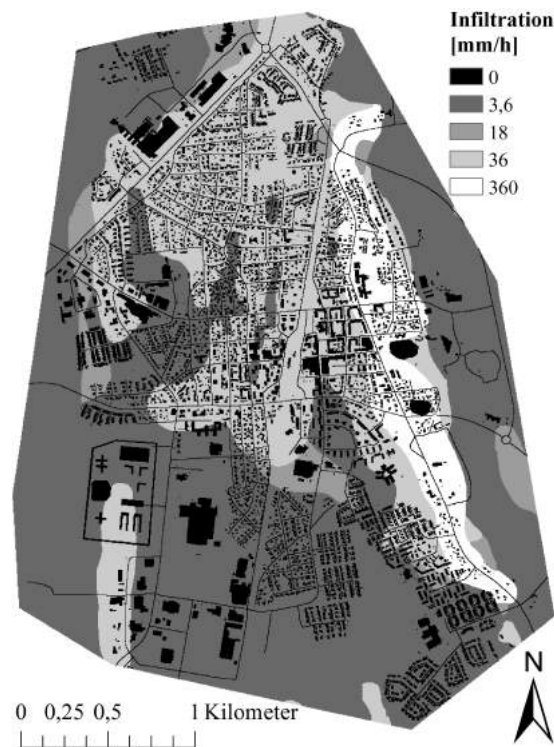
Figur 9. Karta över värden på Mannings tal, M, för olika marktytor i modellområdet som användes för att beskriva markens råhet i MIKE 21 Flow Model FM. Data kommer från GSD-Fastighetskartan ©Lantmäteriet.

4.3.4 Infiltration

Markens infiltrationskapacitet definierades beroende på jordart och markyta. Ytor som klassats som byggnader, vägar eller vatten antogs inte ha någon infiltrationskapacitet. För övriga ytor användes jordarter för att bestämma infiltrationskapaciteten. En generalisering av jordarter gjordes genom att klassa om alla typer av postglacial lera till vanlig lera samt att postglacial sand- och finsand slogs samman. Värden som användes (tabell 7) i den simuleringarna baseras på framtagna värden från Larsson (2008). Precis som för markens råhet skapades ett lager i ArcMap med infiltration (figur 10).

Tabell 7. Infiltration för olika typer av ytor och jordarter som användes i den hydrauliska modelleringen. Värden baseras på laborationsförsök av Larsson (2008).

Yta	Infiltration [mm/h]
Isälvs sediment	360,0
Postglacial sand, sandig morän	36,0
Silt	18,0
Lera	3,6
Byggnader, vägar och vatten	0



Figur 10. Karta över värden på infiltrationskapacitet i modellområdet som användes för att beskriva infiltration i marken i MIKE 21 Flow Model FM. Data kommer från GSD-Fastighetskartan ©Lantmäteriet och Jordarter 1:25 000 - 1:1 000 000 ©SGU.

4.3.5 Modelluppställning

Nedan presenteras värden för inparametrarna till MIKE 21 Flow Model FM. Val av parametrarna för Solution Technique och Flood and Dry gjordes med hänsyn till stabilitet, noggrannhet och simuleringstid.

Domain: Det skapade beräkningsnätet användes som domän. *Minimum depth cutoff* sattes till 100 m för att inte ha en påverkan på beräkningarna.

Time: Simuleringstiden definierades mellan 2017-06-01 00:00:00 till 2017-06-01 04:00:00 med ett tidssteg på 2 sekunder.

Module selection: Modulerna som användes var *Hydrodynamic module* och *Inland Flooding*.

Solution Technique: I ytvattenekvationerna användes en hög ordning på beräkningarna för tidsintegrering och en låg ordning för rumsdiskretisering. Tidssteget för ytvattenekvationer sattes till intervallet 0,0005 - 1,5 sekunder. I transportekvationerna användes tidssteget till 0,001 - 2 sekunder.

Flood and Dry: Definierades som *Advanced flood and dry (floodplain)* med värden enligt tabell 8 för när celler är torra respektive översvämmade:

Tabell 8. Värden för Flood and Dry som används i simuleringar.

h_{dry}	0,001 m
h_{flood}	0,003 m
h_{wet}	0,05 m

Bed Resistance: Den skapade dfs2-filen för Mannings tal användes som input.

Precipitation - Evaporation: Definierades som *Net precipitation* i en dsf2-fil med rumslig variation för dagvattensystem och med en varaktighet av 30 minuter. Två filer användes, en för nederbörd med en återkomsstid på 100 år och en med 200 år.

Infiltration: Definierades som *Net infiltration rate* med rumslig variation beroende på jordlager och markyta. Den skapade dfs2-filen användes som indata.

Initial Conditions: Definierades som konstant. Värden på markytans höjd och hastigheter i x- och y-led sattes till 0.

Boundary Conditions: Den västra gränsen i modellområdet definierades som en öppen gräns med konstant hastighet 0,075 m/s ut från området. Resterande gränser definierades som stängda.

Outputs: Resultatfiler med översvämningens utbredning och maximala vattennivåer skapades utifrån *Maximum water depth* som beskriver de maximala vattennivåerna under simuleringarna i området.

4.4 KÄNSLIGHETSANALYS

I känslighetsanalysen utvärderades effekter av olika scenarion i Kumla för att se skillnader som uppstår i utbredning och vattennivåer. Som referens används de översvämningsskartor som tagits fram för 100- respektive 200-årsregn med inparametrar som beskrivs i 4.3.5. Förändringar i markens råhet, infiltrationskapacitet, användning av avrinningskoefficienter istället för värden på markens råhet, infiltration och evaporation och förändringar i värden för Flood and Dry undersöktes.

4.4.1 Markens råhet

Genom att förändra markens råhet påverkas utbredning och vattennivåer av översvämningar då flödes hastigheten förändras. Mannings tal förändrades (tabell 9) för att undersöka hur stor skillnaden blir i utbredningen och vattennivåer av översvämningar. I scenario M2 sänktes Mannings tal på byggnader från 70 till 30 för att simulera förhållanden där alla byggnader installerat gröna tak, även lagret med nederbörd förändrades för att illustrera en lagringskapacitet på 10 mm. En viss sänkning gjordes även för vägar och vatten. I scenario M3 undersöktes vilken påverkan högre värden på Mannings tal har på en översvämning utbredning och vattennivåer.

Tabell 9. Parametervärden för Mannings tal i referensscenariot, scenario M2 och M3.

Markyta	Referens	M2	M3
Skog	10	10	25
Åker	15	15	25
Vatten	20	15	20
Öppen mark	25	20	40
Låg bebyggelse	30	30	45
Hög bebyggelse	35	35	45
Sluten bebyggelse	40	40	55
Industriområde	50	50	55
Byggnader	70	30	70
Vägar	80	70	80

4.4.2 Infiltration

Genom att variera värden på markens infiltrationskapacitet (tabell 10) har effekterna på översvämningar undersöks. I båda scenarierna sänktes infiltrationskapaciteten i marken. I det första scenariot, I2, halverades infiltrationen och förändringen kan liknas vid att marken är delvis vattenmättad. I det andra scenariot, I3, sattes infiltrationen till noll för alla ytor förutom isälvssediment som är den jordart Hallsbergs-Kumlaåsen består av. Det ska beskriva ett scenario där marken är helt vattenmättad och ingen infiltration kan ske förutom i åsen som antas vara ett tillräckligt stort magasin för att inte bli helt vattenmättad.

Tabell 10. Parametervärden för jordarters infiltrationskapacitet i mm/h för referensscenariot, scenario I2 och I3.

Jordart	Referens	I2	I3
Isälvssediment	360,0	180,0	180,0
Postglacial finsand	36,0	18,0	0
Sandig morän	36,0	18,0	0
Silt	18,0	9,0	0
Postglacial finlera	3,6	1,8	0
Lera	3,6	1,8	0
Byggnader	0	0	0
Vägar	0	0	0
Vatten	0	0	0

4.4.3 Avrinningskoefficient

En avrinningskoefficient användes för att undersöka skillnader mot att använda specifika värden på markens råhet, infiltration och evaporation. Användning av avrinningskoefficienter vid skyfallskartering kräver mindre mängd indata och kunskap i området. Värden på avrinningskoefficienterna (tabell 11) är framtagna av Vägverket (2008). De markytor som användes är beskrivna enligt figur 4a. För områden som klassats som någon typ av bebyggelse har en sammanvägd avrinningskoefficient använts. Värdet på avrinningskoefficienten multiplicerades med beräknade värdena för regnintensiteter och en ny fil med nederbörd skapades.

Tabell 11. Avrinningskoefficienter som används i modellområdet för olika markytor.

Yta	φ
Byggnader och vägar	1,0
Sluten bebyggelse	0,875
Industriområde	0,75
Hög bebyggelse	0,625
Låg bebyggelse	0,5
Öppen mark	0,25
Skog och åker	0,125
Vatten	1,0

4.4.4 Flood and Dry

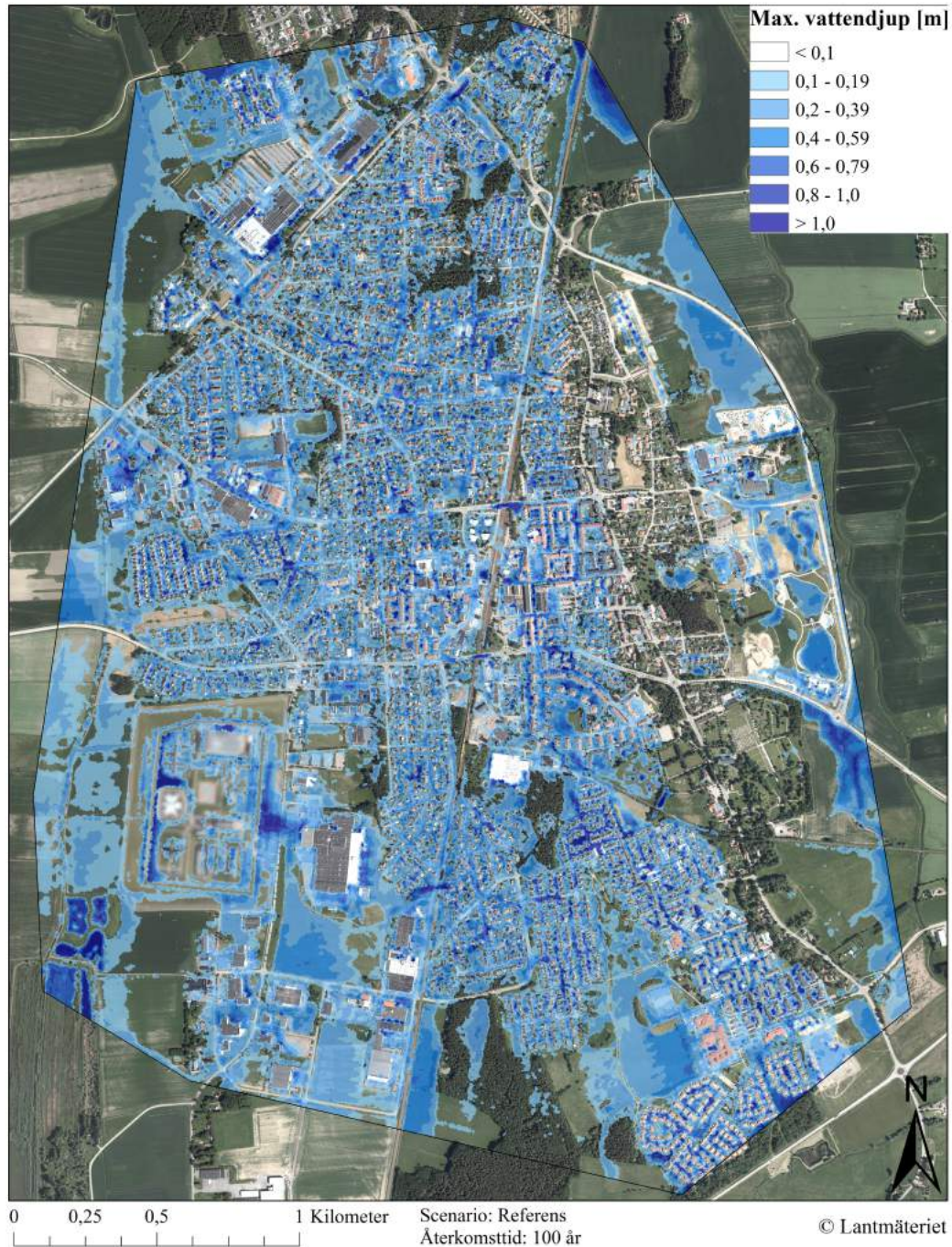
I känslighetsanalysen genomfördes en jämförelse av värden på Flood and Dry (tabell 12) mellan de som används i referensscenariot mot rekommenderade värden från DHI, scenario F2. Skillnader i översvämningens utbredning och vattennivåer undersöktes med olika definitioner för när beräkningsceller anses vara torra eller översvämmade.

Tabell 12. Variationer av värden för Flood and Dry. Scenario F2 motsvarar värden som rekommenderas av DHI.

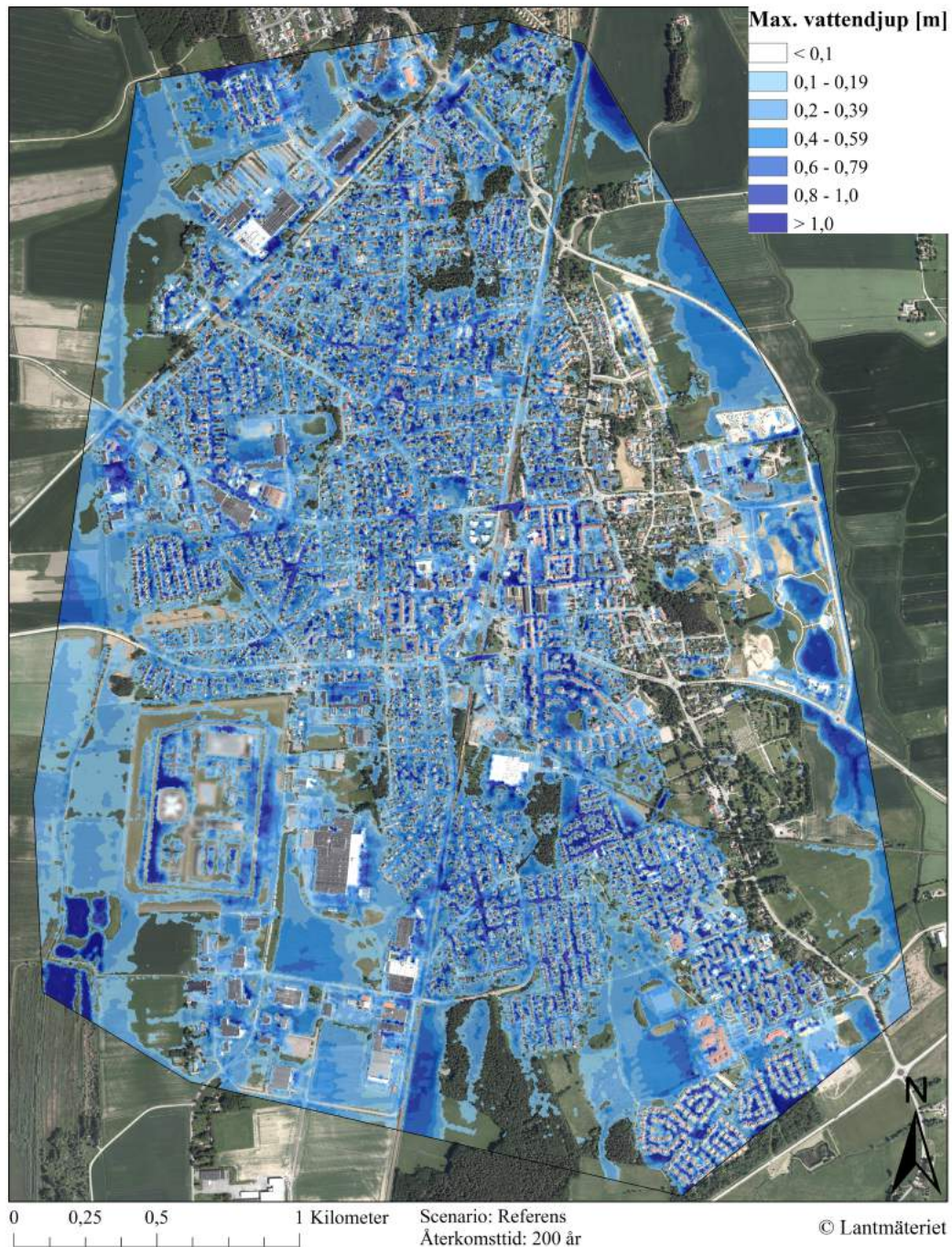
Parameter	Referens	F2
h_{dry}	0,001	0,005
h_{flood}	0,003	0,05
h_{wet}	0,05	0,1

5.2 2D HYDRAULISK MODELL

Två kartor har tagits fram i den 2D-hydrauliska modelleringen som visar utbredning och maximala vattennivåer under simuleringsperioden. Kartorna visar översvämningar till följd av ett 100-års (figur 12) respektive 200-årsregn (figur 13) i Kumla.

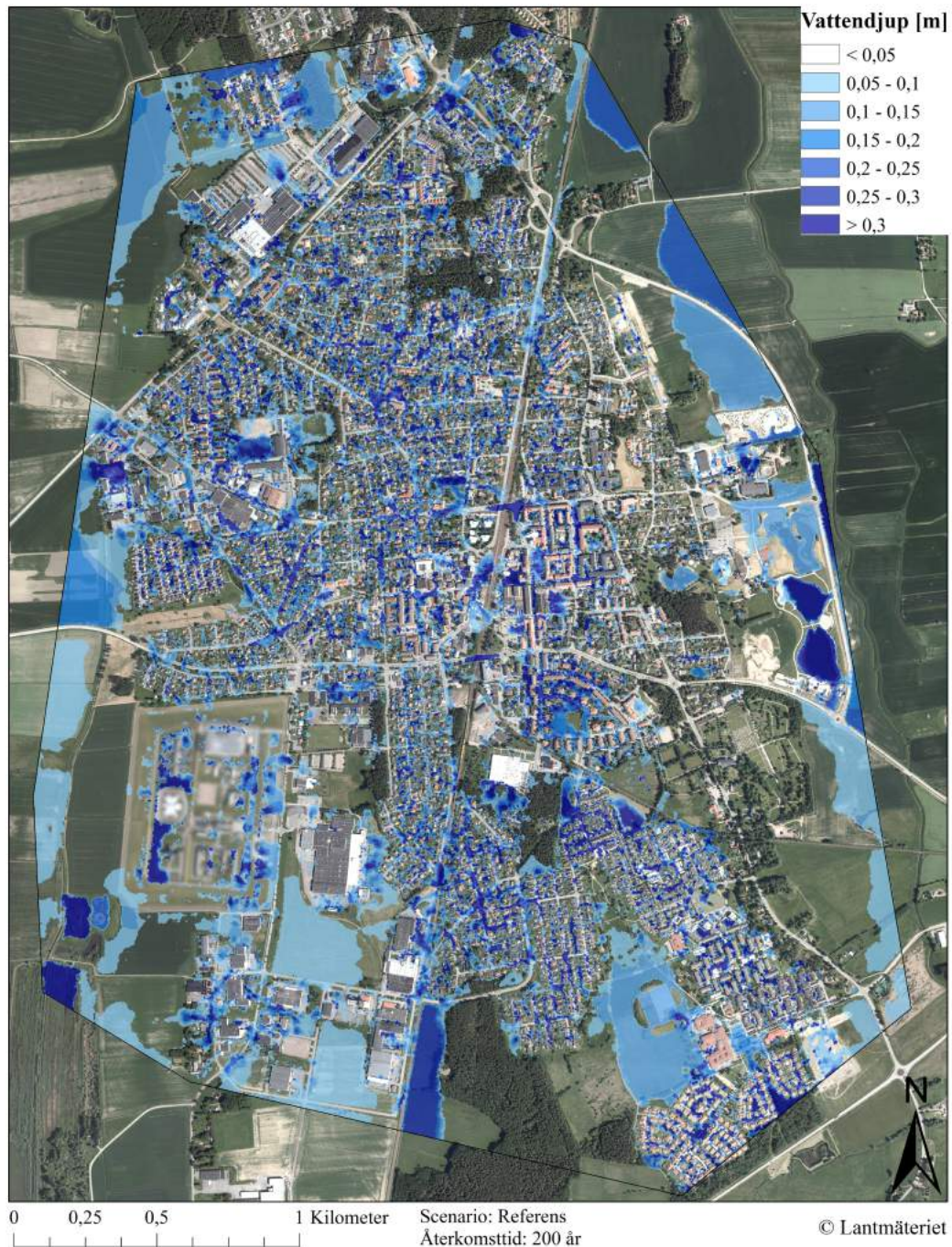


Figur 12. Översvämningutbredning och vattennivåer i Kumla till följd av ett skyfall motsvarande ett 100-årsregn med en varaktighet på 30 minuter. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.



Figur 13. Översvämningsutbredning och vattennivåer i Kumla till följd av ett skyfall motsvarande ett 200-årsregn med en varaktighet på 30 minuter. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.

Differensen mellan översvämnningar från ett 100- respektive 200-årsregn visas i figur 14. Totalt ökar utbredningen för ett 200-årsregn med 0,8 km² i Kumla.



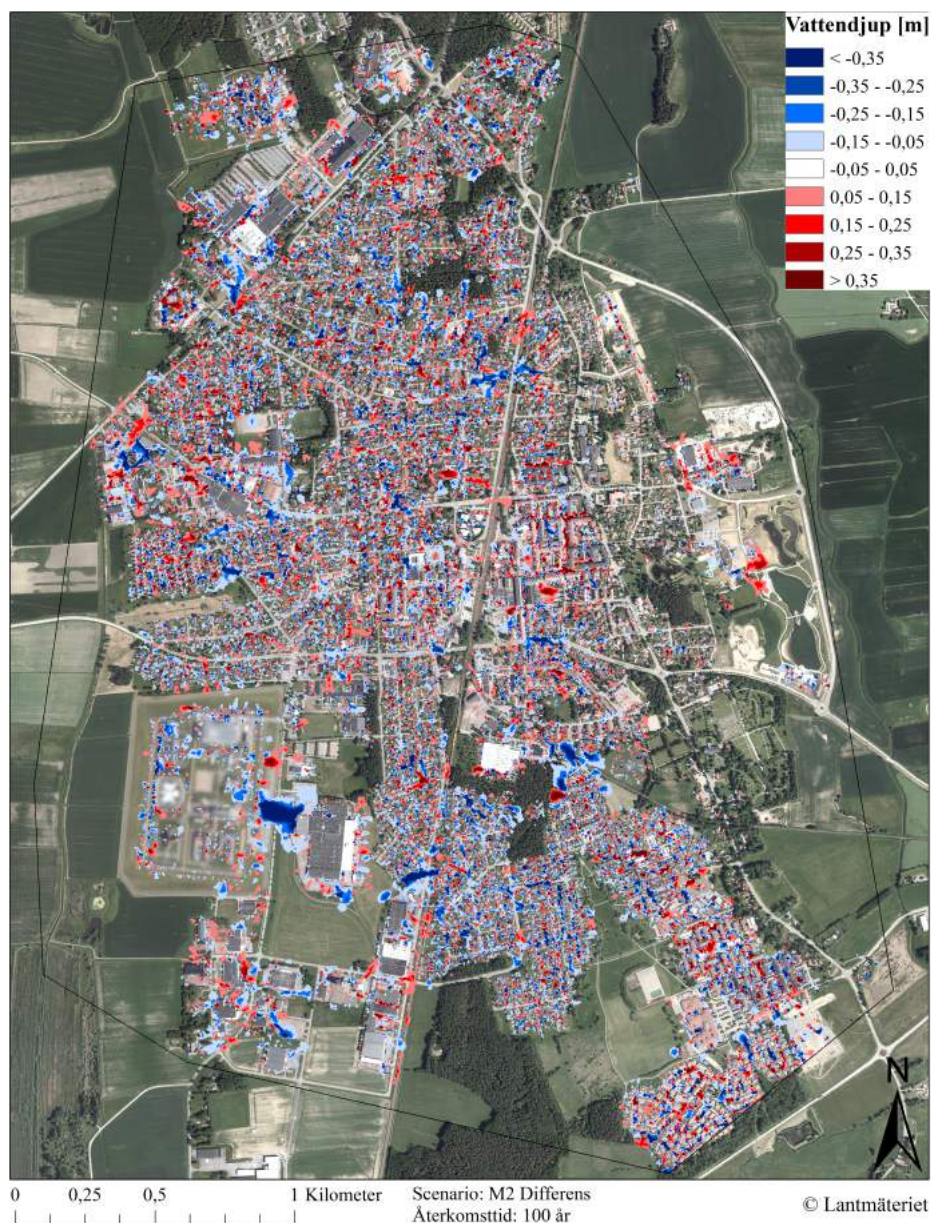
Figur 14. Skillnad i översvämningsutbredning och vattennivåer mellan ett 100- respektive 200-års regn i Kumla. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.

5.3 KÄNSLIGHETSANALYS

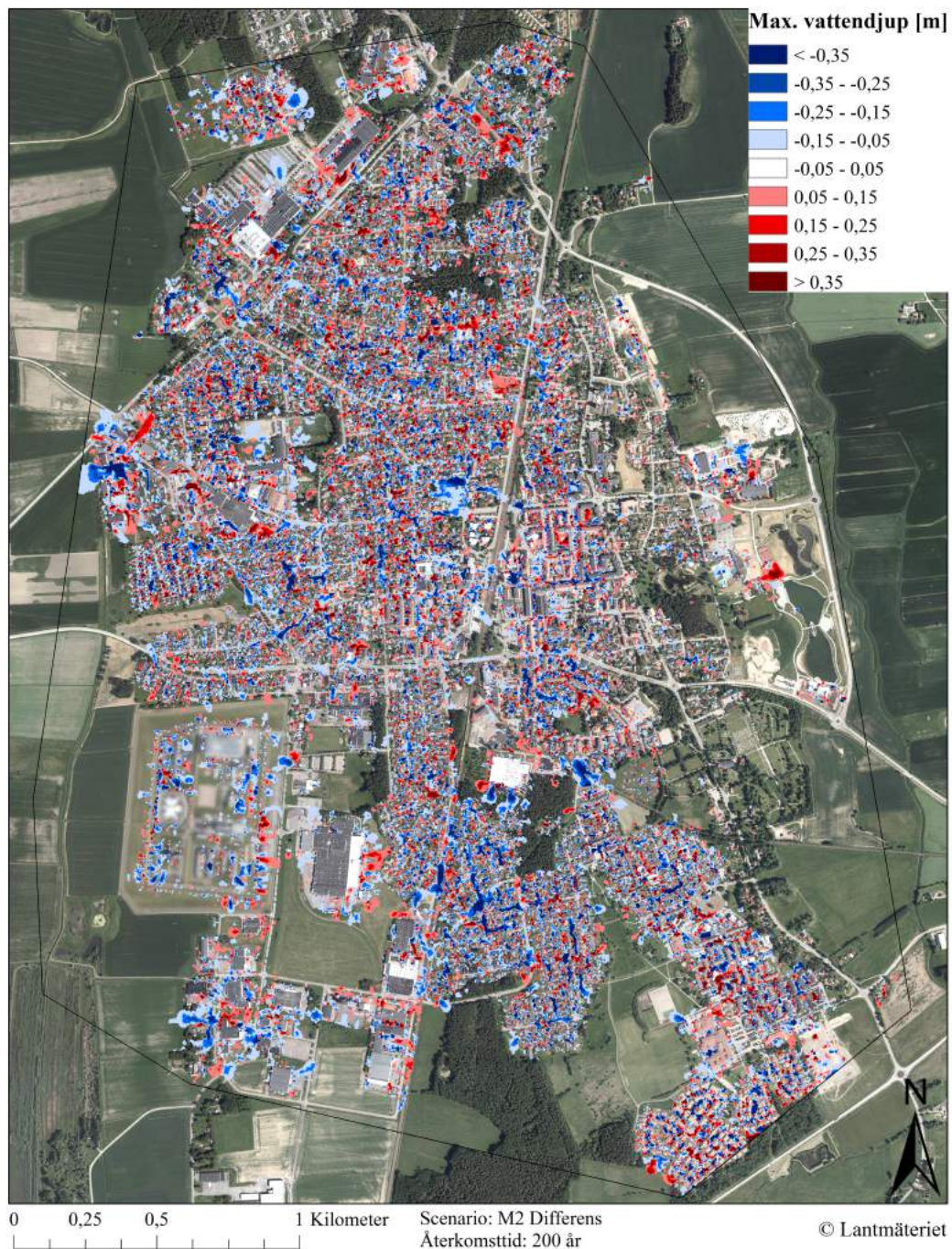
Från känslighetsanalysen presenteras kartor som visar differensen figur (15-26) mellan det scenariot som undersöks och referensscenariot för respektive återkomsttid. Hur stor utbredningen blir för respektive översvämnings presenteras i tabell 13. Ursprungliga översvämningskartor presenteras i Appendix A.

Tabell 13. Arean för översvämnings utbredning av för de scenarier som undersökts i känslighetsanalysen. Totala modellområdets area är 11,15 km².

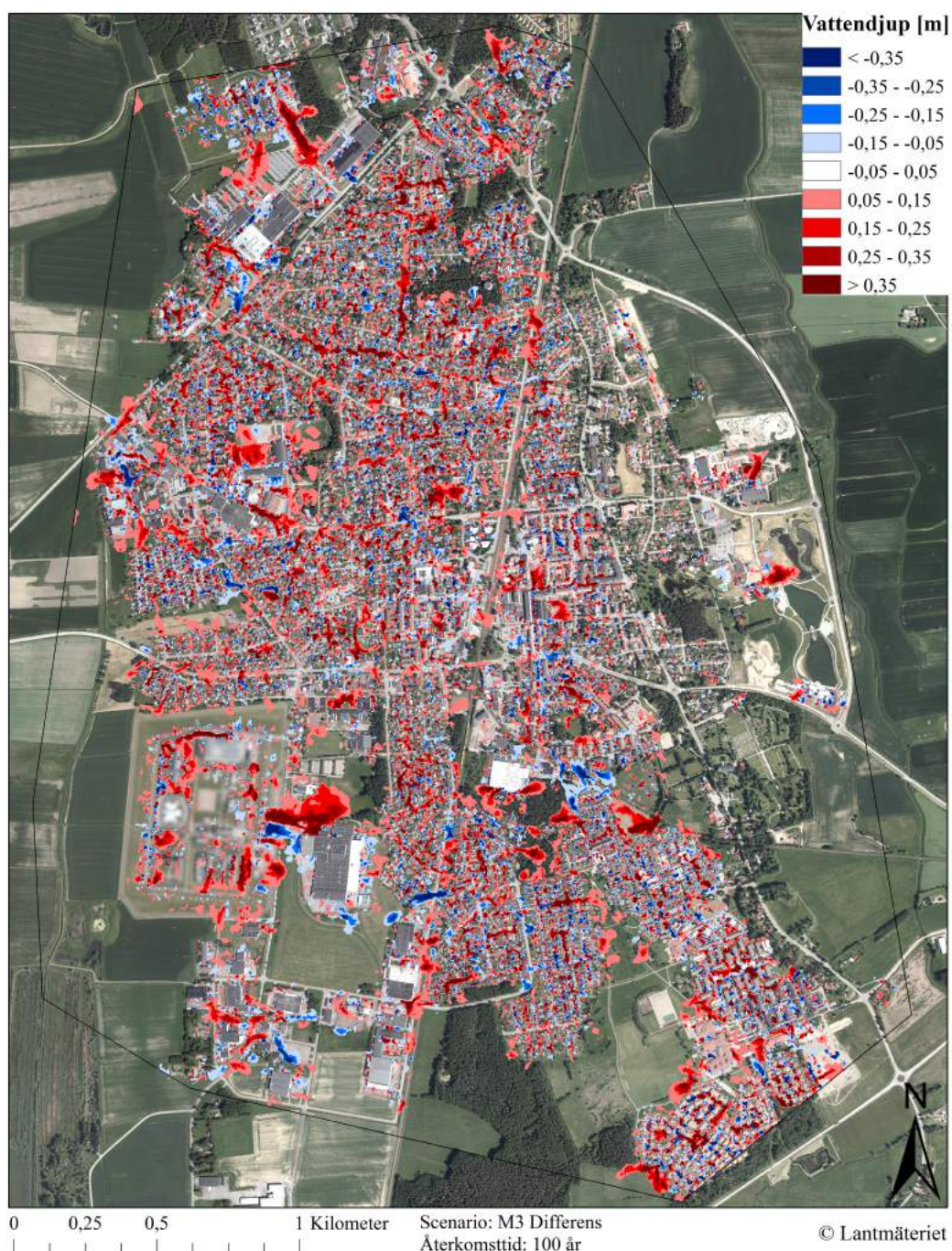
	Referens	M2	M3	I2	I3	A2	F2
Area 100-årsregn [km ²]	4,6	4,5	5,0	4,9	4,7	3,5	5,9
Area 200-årsregn [km ²]	5,4	5,2	5,5	5,5	5,4	4,2	6,4



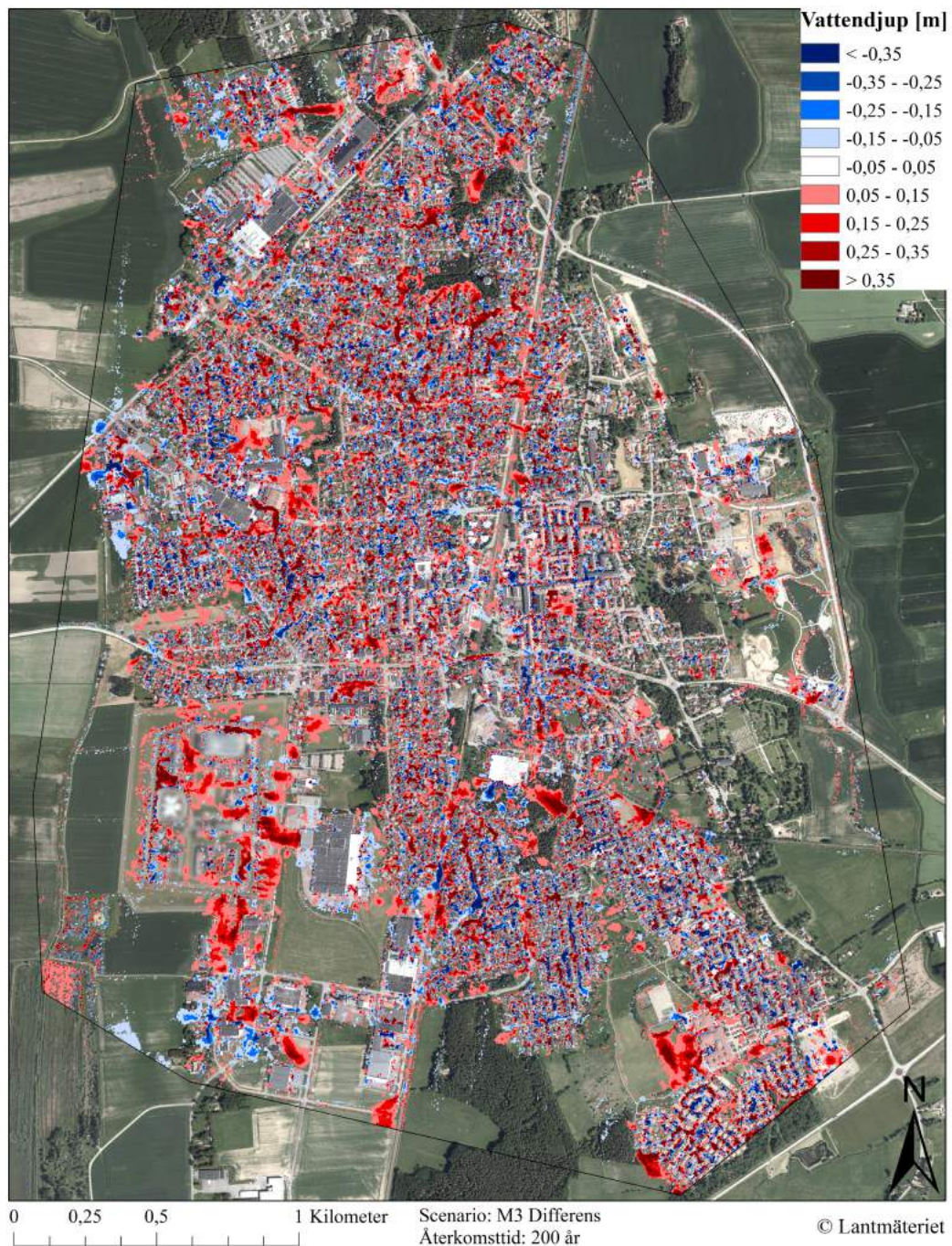
Figur 15. Differenskartan med maximala vattennivåer för scenariot där gröna tak installerats på alla byggnader i Kumla med ett 100-årsregn. Positiva värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för scenariot med gröna tak. Negativa värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för referensscenariot. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.



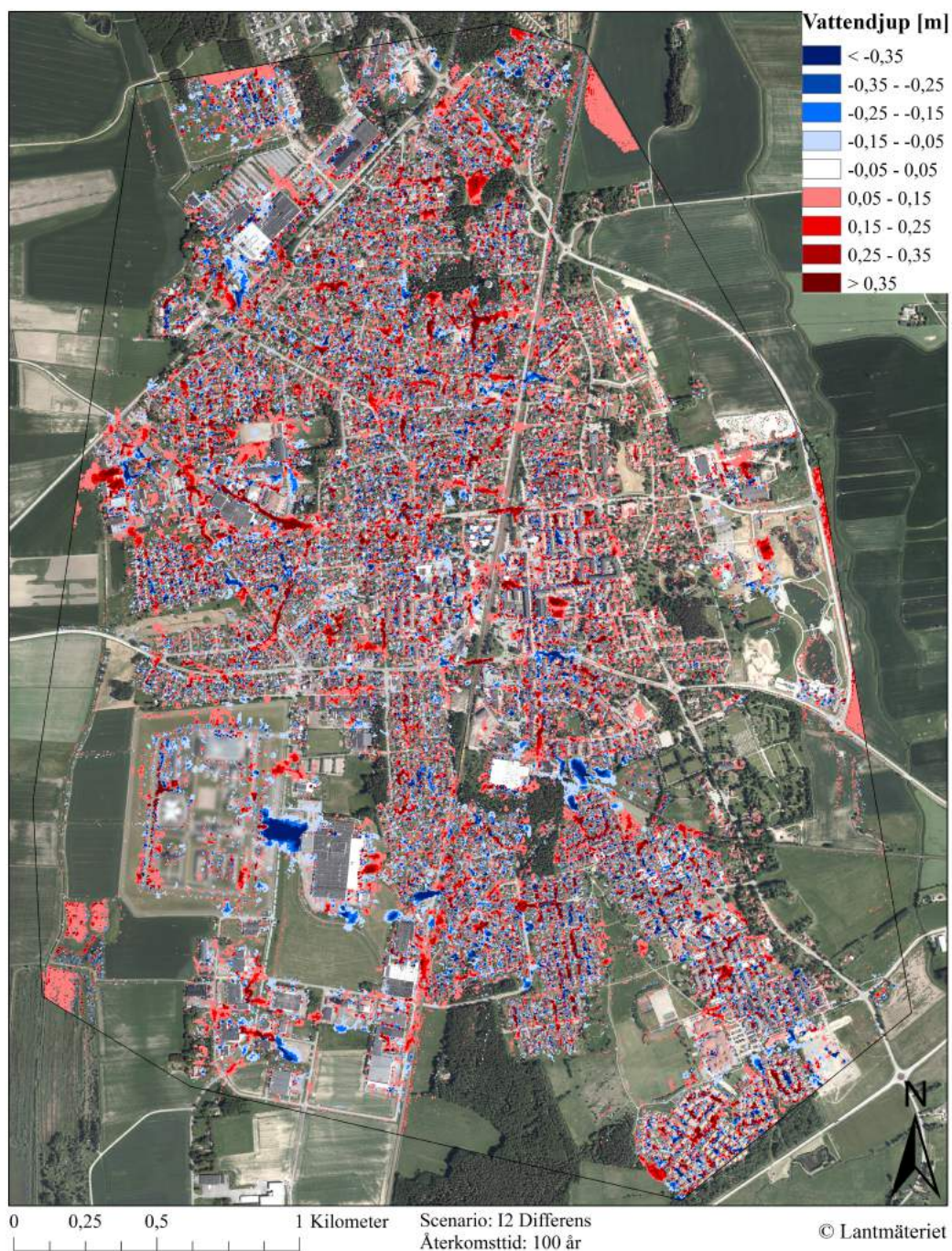
Figur 16. Differenskartan med maximala vattennivåer för scenariot där gröna tak installerats på alla byggnader i Kumla med ett 200-årsregn. Positiva värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för scenariot med gröna tak. Negativa värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för referensscenariot. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.



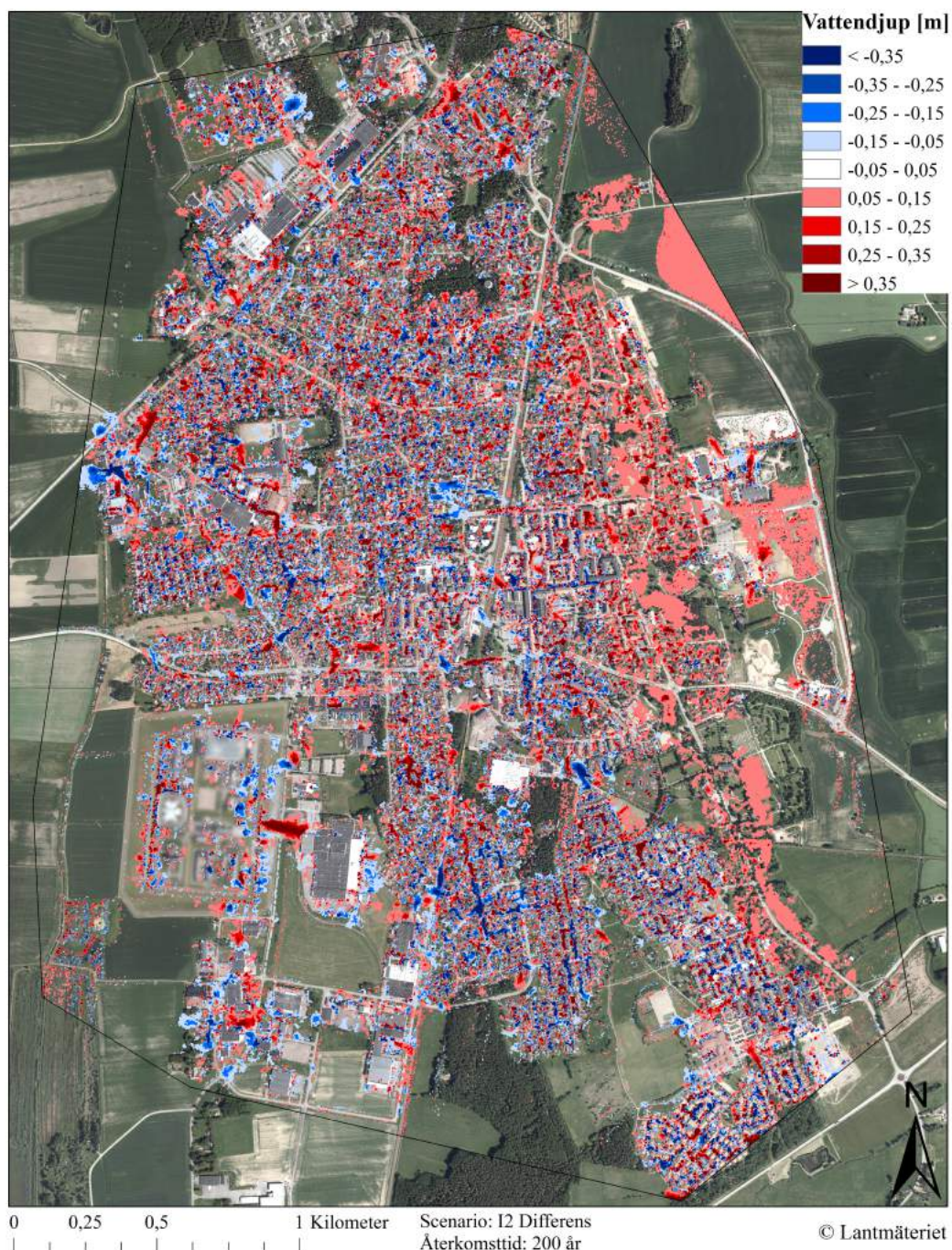
Figur 17. Differenskartan med maximala vattennivåer för scenariot där Mannings tal höjts för alla ytor i Kumla med ett 100-årsregn. Positiva värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för det undersökta scenariot. Negativa värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för referensscenariot. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.



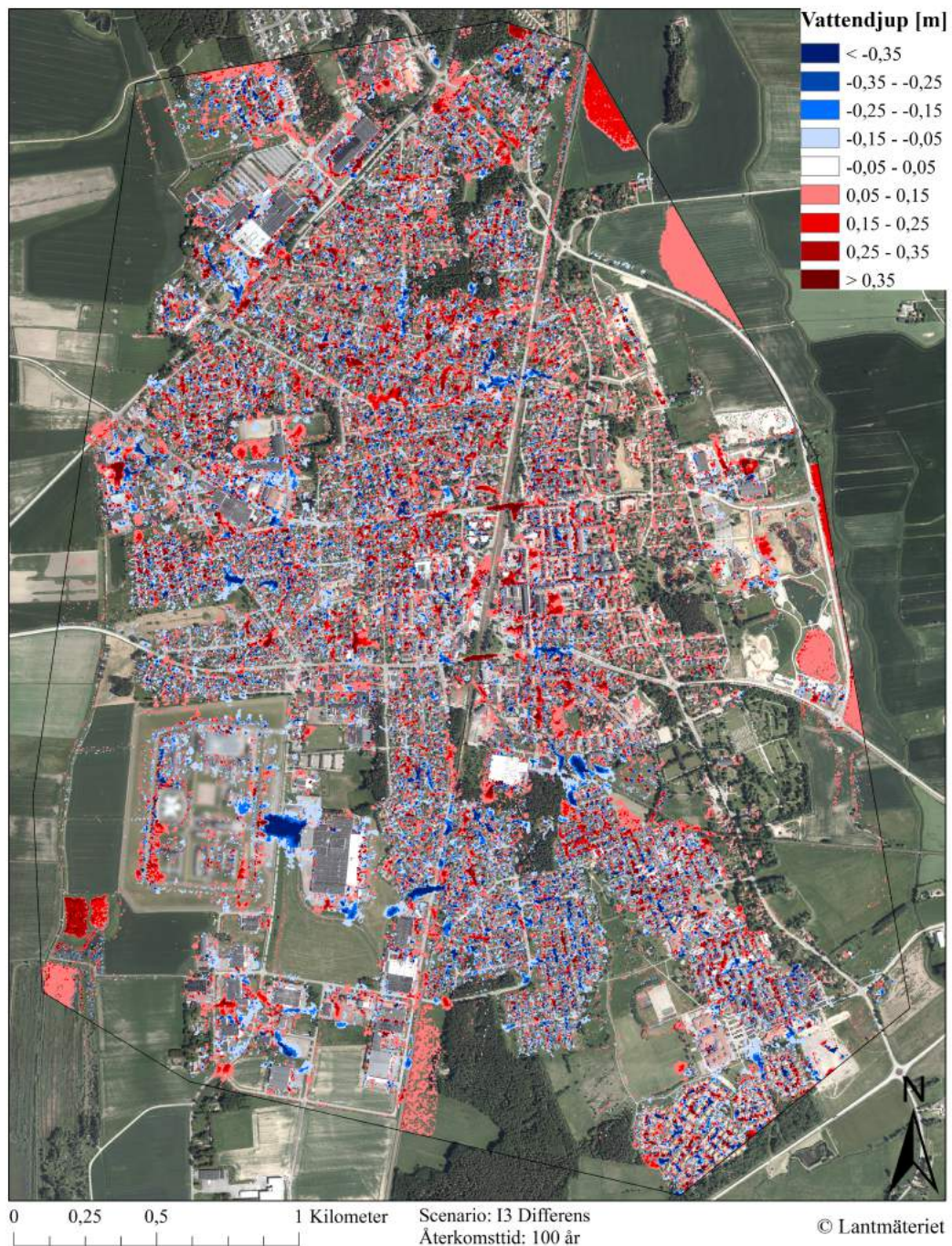
Figur 18. Differenskartan med maximala vattennivåer för scenariot där Mannings tal höjts för alla ytor i Kumla med ett 200-årsregn. Positiva värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för det undersökta scenariot. Negativa värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för referensscenariot. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.



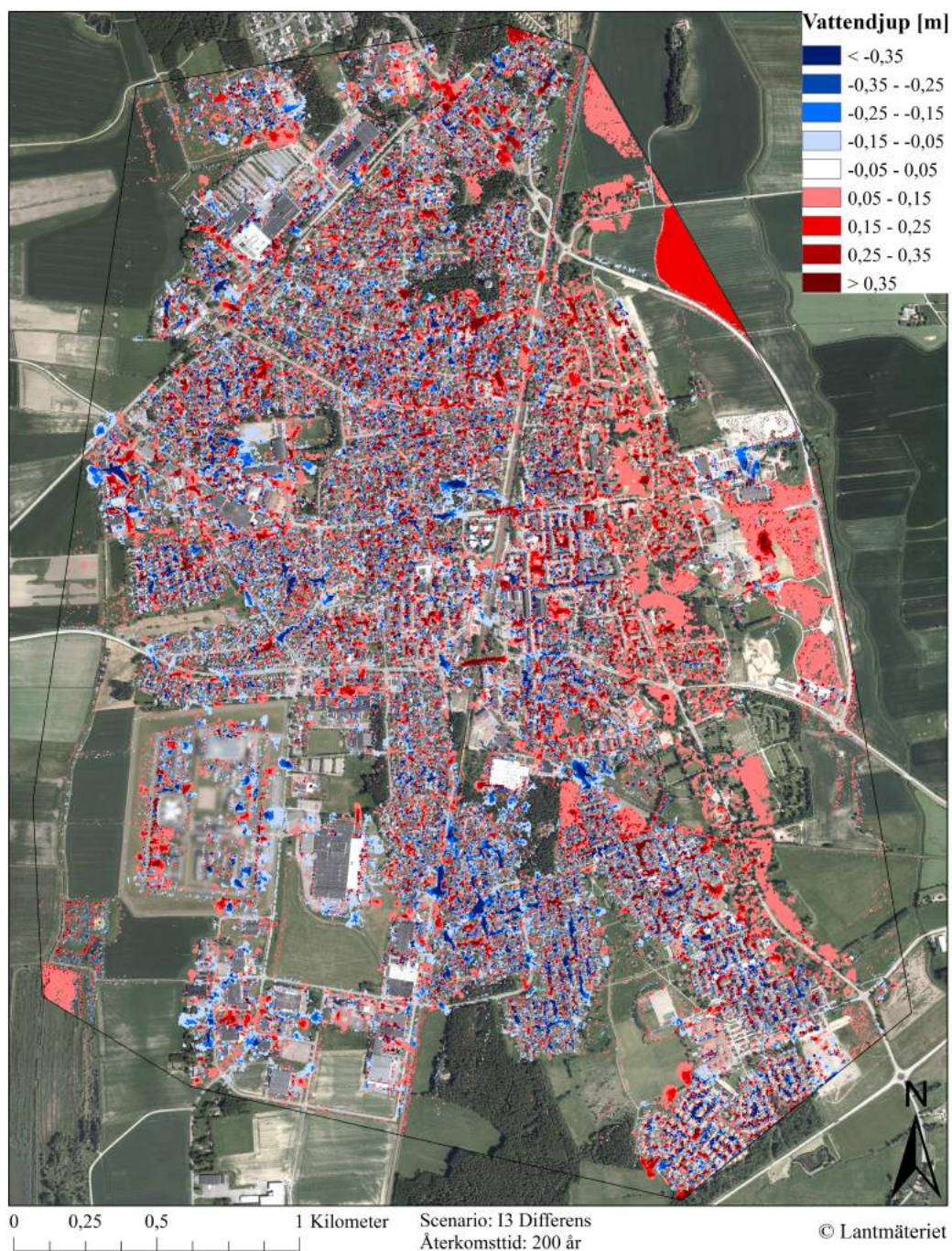
Figur 19. Differenskartan med maximala vattennivåer efter ett 100-årsregn för scenariot där infiltrationen förändrats för att efterlikna delvis mättad jord i Kumla. Positiva värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för det undersökta scenariot. Negativa värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för referensscenariot. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.



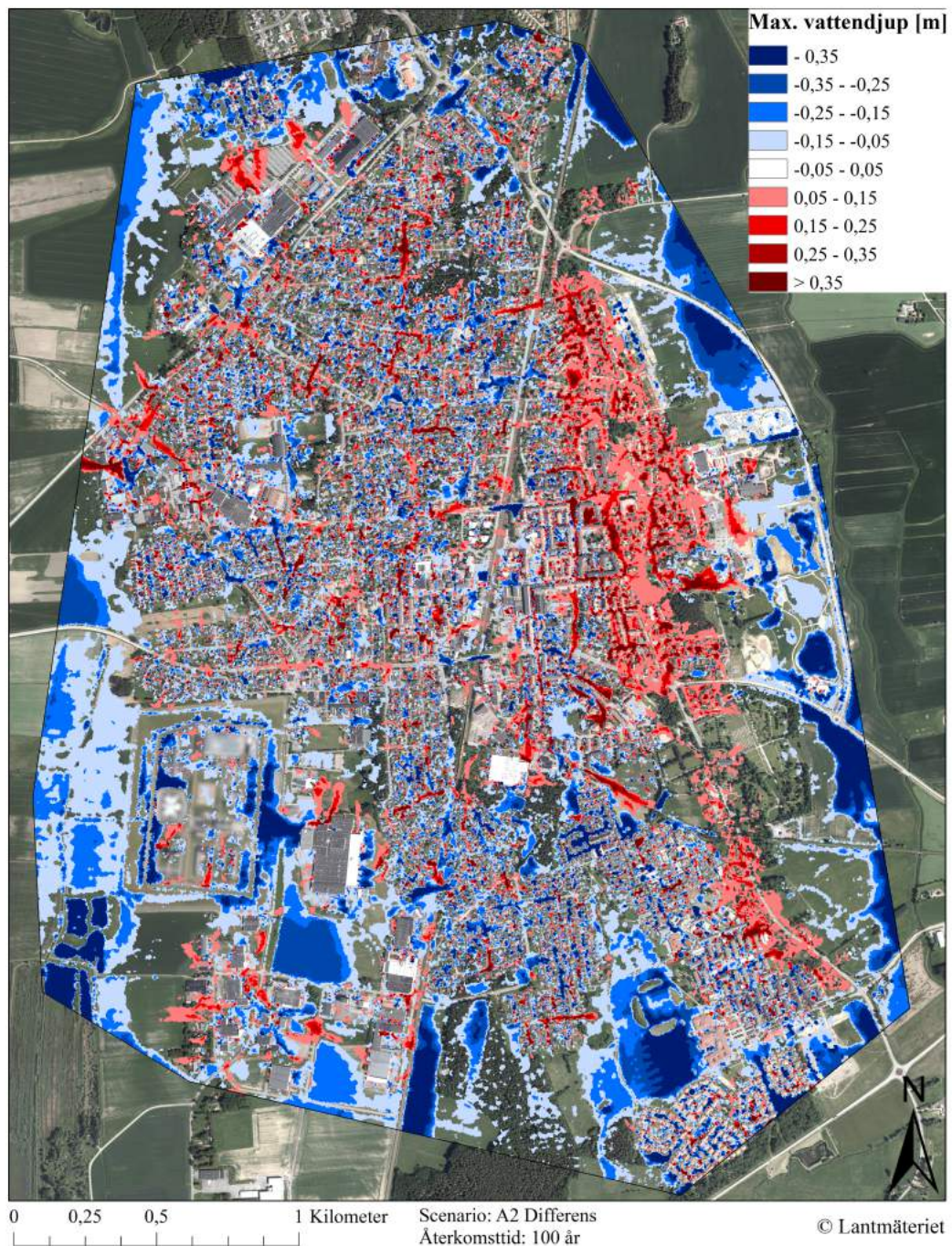
Figur 20. Differenskartan med maximala vattennivåer efter ett 200-årsregn för scenariot där infiltrationen förändrats för att efterlikna delvis mättade markförhållanden. Positiva värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för det undersökta scenariot. Negativa värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för referensscenariot. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.



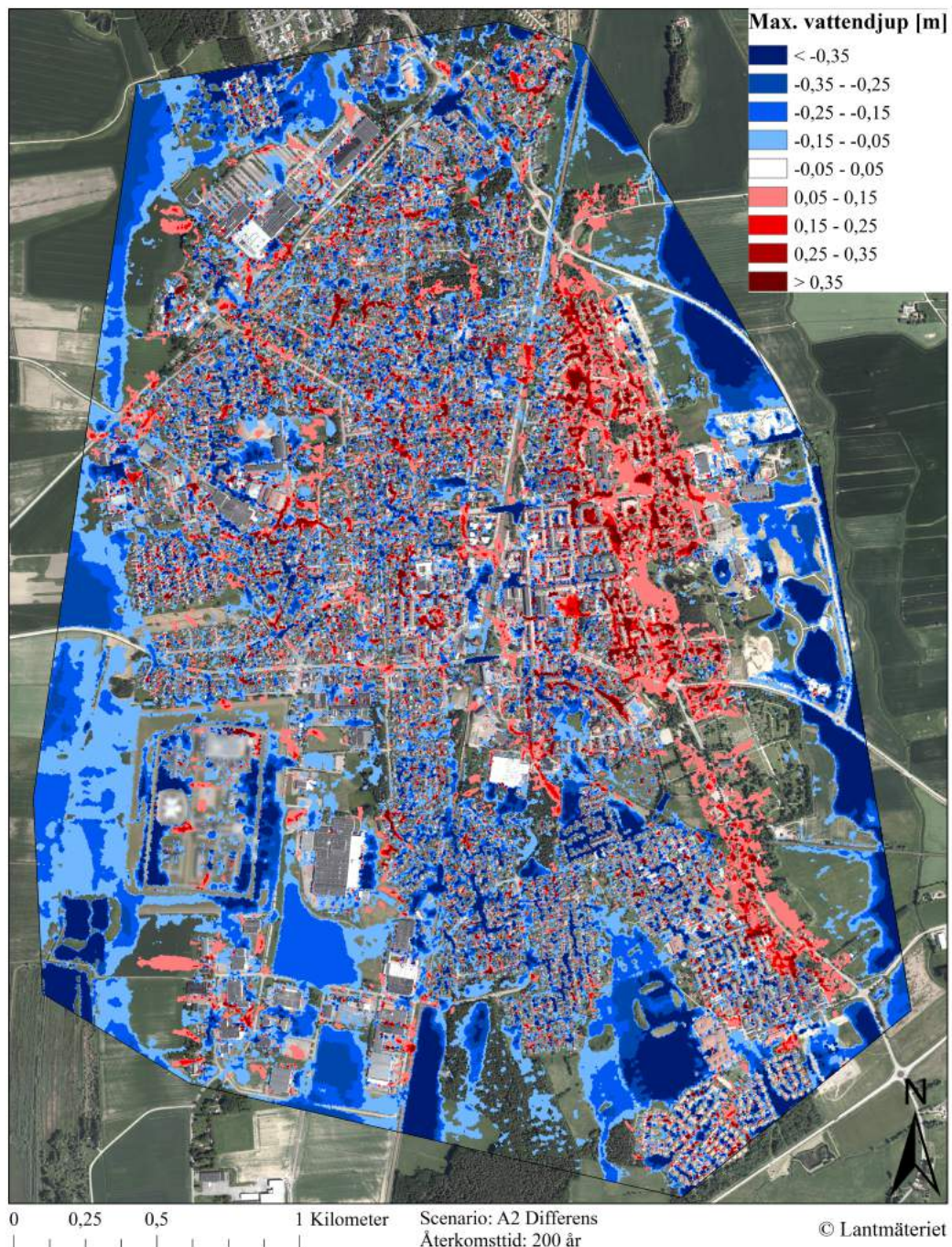
Figur 21. Differenskartan med maximala vattennivåer efter ett 100-årsregn för scenariot där infiltrationen förändrats för att efterlikna helt mättade markförhållanden. Positiva värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för det undersökta scenariot. Negativa värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för referensscenariot. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.



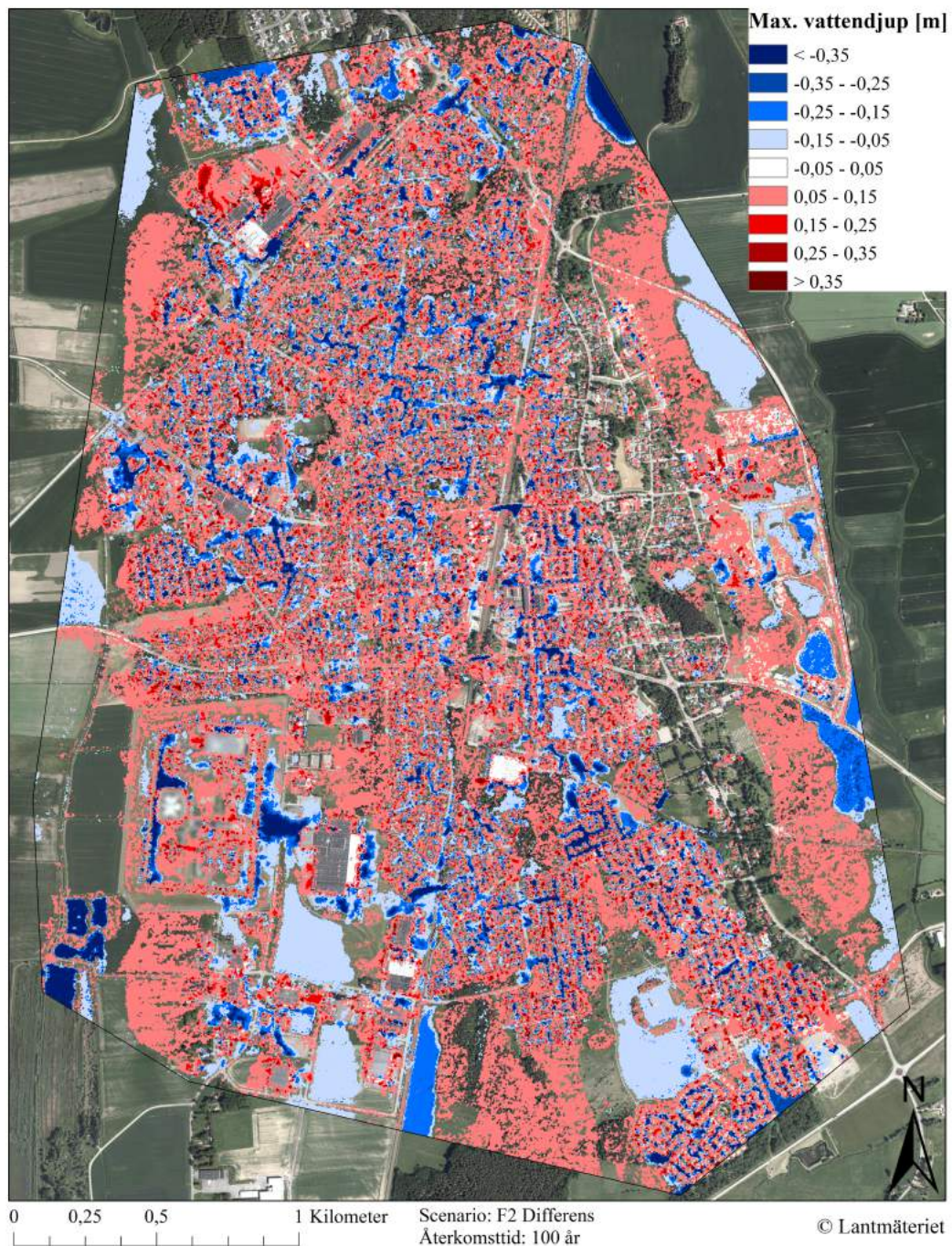
Figur 22. Differenskartan med maximala vattennivåer efter ett 200-årsregn för scenariot där infiltrationen förändrats för att efterlikna helt mättade markförhållanden. Positiva värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för det undersökta scenariot. Negativa värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för referensscenariot. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.



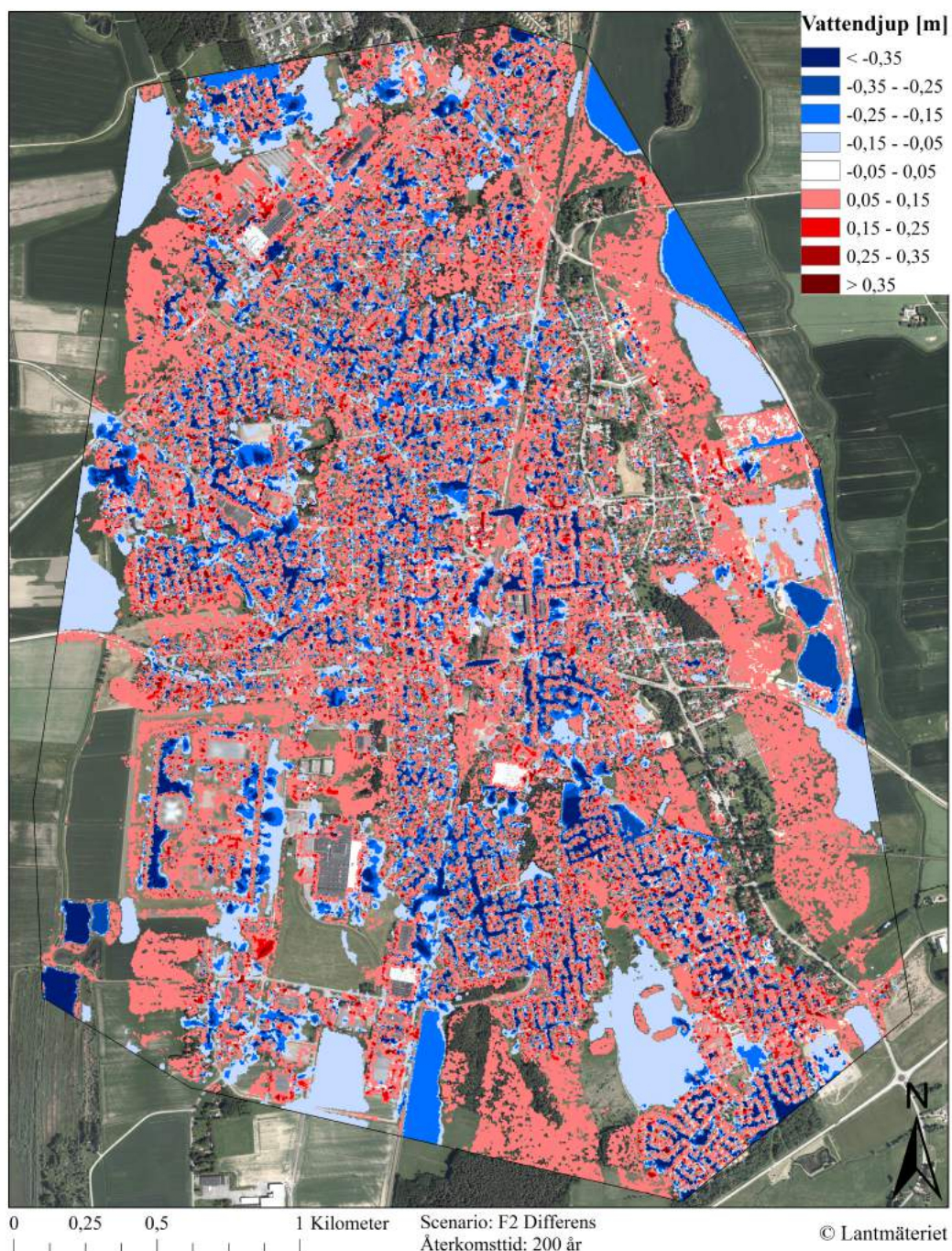
Figur 23. Differenskartan med maximala vattennivåer efter ett 100-årsregn för scenariot där avrinningskoefficienter används istället för värden på markens råhet, infiltration och evaporation. Positiva värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för det undersökta scenariot. Negativa värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för referensscenariot. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.



Figur 24. Differenskartan med maximala vattennivåer efter ett 200-årsregn för scenariot där avrinningskoefficienter används istället för värden på markens råhet, infiltration och evaporation. Positiva värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för det undersökta scenariot. Negativa värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för referensscenariot. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.



Figur 25. Differenskartan med maximala vattennivåer efter ett 100-årsregn för scenariot där rekommenderade värden används för Flood and Dry. Positiva värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för det undersökta scenariot. Negativa värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för referensscenariot. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.



Figur 26. Differenskartan med maximala vattennivåer efter ett 200-årsregn för scenariot där rekommenderade värden används för Flood and Dry. Positiva värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för det undersökta scenariot. Negativa värden indikerar områden där vattennivåerna är högre för referensscenariot. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.

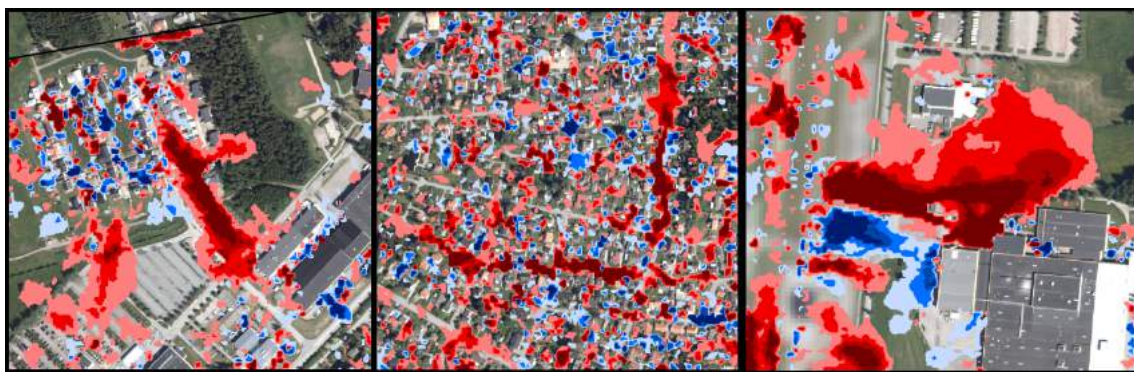
5.4 UTVALDA OMRÅDEN

Området Kumlaby (figur 27), beläget syd-sydost om centrala Kumla, har identifierats som ett område med risk att utsättas för höga vattennivåer.



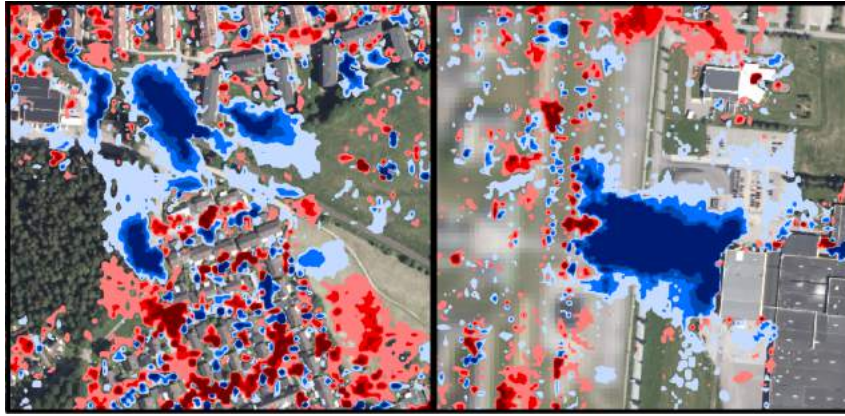
Figur 27. Området Kumlaby som riskerar att utsättas för höga vattennivåer till följd av ett 100-årsregn. Bakgrundskarta kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.

I scenario M3 när Mannings tal höjts har tre områden (figur 28) identifierats få tydligt högre vattennivåer än referensscenariot.



Figur 28. Områden som drabbas av högre vattennivåer i scenario M3 för ett 100-årsregn. Till vänster ligger Vallmogatan, i mitten Lindåsgatan/Mossbanegatan och till höger området utanför Kumlaanstalten. Bakgrundskarta kommer från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.

Två områden (figur 29) har identifierats få mycket lägre vattennivåer för scenario I2 gentemot referensscenariot med ett 100-årsregn. Dessa är belägna norr om Kumlaby samt utanför Kumlaanstalten.



Figur 29. Differensen som uppstår till följd av ett 100-årsregn med delvis mättade markförhållanden norr om Kumlaby till vänster och utanför Kumlaanstalten till höger. Röd färg indikerar högre vattennivåer med delvis mättade förhållanden, blå färg indikerar högre vattennivåer för referensscenariot. Bakgrundkarta från GSD-Ortfoto, ©Lantmäteriet.

6 DISKUSSION

6.1 LÅGPUNKTSKARTERING

Utifrån lågpunktskarteringen (figur 11) fås en snabb överblick över vilka områden som riskerar att drabbas av översvämningar. De lågpunkter som visas är de punkter som fylls upp av vattenmassor. Det är således inget regn som används i metoden, de vattenmassor som bildas kan heller inte rinna över lågpunkterna. Lågpunktskarteringen visar få områden i Kumla som riskerar att drabbas av översvämningar. De området som identifierats är främst passager under järnvägen och jordbruksområden utanför Kumla. Eftersom metoden bygger på antaganden om att ingen infiltration kan ske, ingen beräknad nederbörd används samt att endast höjddata används ska resultatet från karteringen inte ses som mer än en indikation på riskområden för översvämningar.

6.2 2D HYDRAULISK MODELL

Simuleringarna som genomförts visar att omfattande översvämningar bildas i Kumla för både ett 100- och ett 200-årsregn. I fallet då ett 200-årsregn används blir både utbredningen större och vattennivåerna högre (figur 14). Totalt ökar utbredningen av en översvämning i Kumla med ett 200-årsregn istället för ett 100-årsregn med 0,8 km² (tabell 13). Det blir alltså en stor ökning i utbredningen av översvämningen utöver att vattennivåerna höjs. Som ses i figur 14 bildas högre vattennivåer (> 0,35 m) i tätorten medan vattennivåerna i områden utanför tätorten inte ökar lika mycket. Anledningen till vattennivåerna ökar mer i tätorten kan bero på flera saker. Dels är infiltrationskapaciteten lägre med en stor andel hårdjordade ytor. Vattnet har även begränsade möjligheter att rinna undan på grund av att strukturer som blockerar flödesvägar.

I figur 27 visas Kumlaby som riskerar utsättas för höga vattennivåer. En orsak till de höga vattennivåerna är att Kumlaby ligger mellan Hallsbergs-Kumlaåsen och den höjd där järnvägen går. Kumlaby underlagras av olika typer av leror (figur 4b) vilket gör att det vatten som rinner dit inte infiltrerar marken tillräckligt snabbt utan ackumuleras med höga vattennivåer som följd.

6.2.1 Modelluppställning och val av parametervärden

Vid val av parametrar gjordes en avvägning mellan simuleringstid, stabilitet och kvalitet i den skapade översvämningsskartan. I beräkningsnätet som skapades användes ett triangulärt nät med två olika upplösningar, 32 m² och 64 m² som maximal area och en maximal vinkel av 28°. Ett beräkningsnät med finare upplösning med högre och maximal vinkel hade kunnat ge ett bättre resultat, dock hade simuleringstiderna blivit mycket längre. För randvillkoren i modellen definierades enbart den västra gränsen som öppen med en konstant hastighet av vattenflöde ut från modellen. Områden som är belägna väst om Kumla består av främst åkermark och lutningen är lätt sluttande från Kumla. Att hastigheten från modellområdet inte sattes till 0,1 m/s enligt Vägverket (2008) beror på att vattenmassor troligtvis ansamlas kring de diken som finns och då skapar ett motstånd. Resterande gränser som definierats som stängda innebär att vatten inte rinner undan från modellområdet. I den östra delen ses att vattenmängder ansamlas längs hela gränsen. Detta är något som är ett troligt scenario då Kumlaån som är belägen öster om modellen bidrar till att en översvämning bildas. Att Kumlaån inte har tagits med i modellen är en förenkling som gjordes då den inte rinner igenom Kumla, samt att inte skapa en kopplad 1D-2D modell. Istället ligger fokus på förloppet från skyfall och inte bidrag från närliggande vattendrag.

Parametrarna som skapats i ArcMap för markens råhet och infiltration kan ses som generella värden. Mannings tal används för att beskriva markens råhet och baseras på uppskattningar av markytorna i området. Infiltrationen är baserad på de jordarter som finns samt ytor klassade som byggnader och vägar. Värdena för båda dessa parametrar bidrar med osäkerheter till resultaten på grund av de uppskattningar som gjorts. En exakt klassning av ytorna i modellområdet för Mannings tal samt en mer noggrann bestämning av jordarternas infiltrationsförmåga skulle ge bättre resultat, dock är detta något som blir tidskrävande. Utöver markens råhet och infiltration skapades datafiler för nederbörd. Nederbörden beskrivs med den maximala intensiteten enligt ekvation 6. Hänsyn till ledningsnätet för dagvatten gjordes med ett schablonmässigt avdrag och för klimatförändringar i framtiden användes med en klimatkoefficient. Valet att inte använda evaporation som parameter tillsammans med nederbörden gjordes då effekten är låg vid skyfall och under den simuleringstid som användes. De värden på den maximala intensiteten som tagits fram anses rimliga med den bakgrund som finns för beräkningar av framtida nederbörd. Det finns dock utrymme för förbättring även här. Bestäms ledningsnätets kapacitet kan en 1D-modell kopplas till den skapade 2D-modellen. Att skapa en sådan 1D-modell kräver mycket information om dimensioner, magasinering och flödesvägar och kan ta mycket lång tid att skapa enligt Hernebring & Mårtensson (2013).

Flood and Dry användes tillsammans med lösningsteknik där tidssteg varierades för att uppnå stabilitet i simuleringarna. Värden på Flood and Dry som användes var lägre än DHI:s rekommenderade värdena. Valet att sänka dessa innebär att en cell definierades som översvämmad vid 0,05 m istället för 0,1 m. Avvägningen att inte sänka värdena mer gjordes med hänsyn till simuleringstid och stabilitet. För låga värden på Flood and Dry innebär att de vattenflöden som bildas kan bli orimligt höga och modellen blir instabil. Tidssteget sattes så lågt som möjligt utan att detta skapade instabilitet i simuleringarna som kördes. Ett högre tidssteg skulle kunnat användas men då skulle resultatet bli sämre och dynamiken som uppstår i modellen skulle inte fångas upp lika bra som med ett lägre tidssteg.

6.3 KÄNSLIGHETSANALYS

Skillnader mellan valda scenarion och referenskartor för respektive återkomsttid undersöks och orsaker till dessa diskuteras. Även effekten av förändringarna på resultatet tas upp. Fokus i diskussionen ligger främst på översvämningar som bildas till följd av 100-årsregn då sannolikheten att dessa inträffar är större än för ett 200-årsregn. Utbredning jämförs med hjälp av arean som presenteras i tabell 13. Generellt ses att skillnaderna i area blir större för 100-årsregn än för 200-årsregn. Det kan tolkas som att översvämningar från mer nederbördstillfällen med längre återkomsttid inte påverkas i samma utsträckning av förändringar som för kortare återkomsttider.

6.3.1 Markens råhet

Förändring av markens råhet undersöks i scenario M2 (figur 15-16) som illustrerar en installation av gröna tak på alla byggnader i Kumla. I scenario M3 (figur 17-18) har värdet på Mannings tal ökat för alla ytor utom åkermark, vatten, vägar och byggnader.

Scenario M2

Vid en installation av gröna tak på alla byggnader i Kumla blir utbredningen av en översvämning mindre (tabell 13) för både ett 100- och 200-årsregn. Differenskartan för ett 100-årsregn (figur 15) visar få områden som tydligt kan pekats ut med mycket högre vattennivåer. En stor del av de områden i Kumla som drabbas av högre vattennivåer ökar med upp till 0,15 m. I områden som får lägre vattennivåer med gröna tak blir skillnaden ofta mer än 0,35 m. När ett 200-årsregn används blir det tydligare i differenskartan (figur 16) att vattennivåerna överlag är lägre med en installation av gröna tak. I Skottvalla som ligger i södra Kumla blir effekterna tydliga med installation av gröna tak där nästan hela området har mörkblå färg vilket indikerar vattennivåer som är mer än 0,35 m högre för referensen.

Skillnaderna som presenteras ovan med förändrad area och vattennivå är vad som kan förväntas med gröna tak på stora ytor. Den lagringskapacitet som finns i de gröna taken får en effekt på så sätt att det inte blir lika stor mängd vatten som kan bilda översvämning. Det vatten som kommer från taken har också en längre uppehållstid på taken vilket innebär att utbredningen blir mindre. Det kan diskuteras huruvida det är praktiskt genomförbart det är att installera gröna tak på alla byggnader i Kumla. En mer genomförbar åtgärd skulle kunna vara att välja ut områden som riskerar att bidra med stora mängder vatten, i kombination med andra åtgärder för att leda vatten till områden där konsekvenserna av en översvämning inte blir lika omfattande. Det är dock tydligt att införande av gröna tak påverkar översvämningen som bildas med mindre utbredning och lägre vattennivåer för både ett 100- och 200-årsregn. Effekten av gröna tak ska dock inte överskattas. Det är troligt att för nederbördstillfällen som har en lägre intensitet än de som används i detta arbete påverkas mer av gröna tak på grund av den relativt låga lagringskapacitet gentemot den höga intensiteten i skyfall. Resultat från en studie som undersökte påverkan från grön infrastruktur visar att effekten är begränsad för nederbördstillfällen med hög intensitet oavsett varaktighet (Tao et al., 2017).

Scenario M3

När Mannings tal höjs innebär det att motståndet för vattenflöde minskar. Det gör att vatten flödar i högre hastigheter och vattennivåerna bör rimligtvis bli lägre men med en större utbredning som resultat. I de simuleringar som genomförts blir översvämningens utbredning större för både ett 100- och 200-årsregn. Störst ökning sker för ett 100-årsregn där arean ökar med 0,4 km² medan ökningen för ett 200-årsregn är 0,1 km². I differenskartan för översvämningen efter ett 100-årsregn i scenario M3 är stora delar av Kumla rödfärgade vilket indikerar att översvämningen är mer omfattande med högre vattennivåer. Något som bekräftas av den ökade arean. Figur 28 visar tre områden som drabbas av högre vattennivåer efter ett 100-årsregn, anledningen till detta är troligtvis högre vattenhastigheter som gör att vattenmassor snabbare når dessa områden där de sedan stannar. För ett 200-årsregn ökar arean inte lika mycket som i referensscenariot, dock har stora delar av differenskartan (figur 18) positiva värden som indikerar att vattennivåerna är högre i scenario M3.

Att översvämningarna blir större med högre värden på Mannings tal är något som kan förväntas enligt teorin. Däremot att vattennivåerna ökar i stora delar av Kumla förbryllar. Det kan delvis förklaras med att urbana miljöer till stor del består av strukturer där vatten inte kan flöda. Ytorna där detta kan ske blir därmed mindre och kan förklara att vattennivåerna är högre med högre värden på Mannings tal. En annan förklaring kan vara att översvämningen i referensscenariot underskattas, alternativt att det sker en överskattning av översvämningen när Mannings tal ökar. Då valen av värden för Mannings tal i detta arbete är en uppskattning utifrån Vägverkets (2008) rekommendationer krävs bättre kunskap om ytorna som finns för att göra en korrekt bedömning av översvämningar som bildas.

6.3.2 Infiltrationskapacitet

Två olika scenarion undersöktes med variationer i markens infiltrationskapacitet. I scenario I2 undersöks översvämningen som bildas när marken är delvis mättad och differensen gentemot referenskartan för respektive återkomsstid som använts (figur 19-20). I scenario I3 antas marken vara helt mättad förutom Hallsbergs-Kumlaåsan. Differensen undersöktes (figur 21-22) gentemot referenskartan för respektive återkomsstid på nederbörd.

Scenario I2

I scenariot med ett 100-årsregn där marken är delvis mättad (figur 19) ses vissa samband för hur översvämningen förändras. Utanför tätorten sker en liten förändring i de maximala vattennåvierna mellan de olika scenarierna. Generellt ses att i tätorten ökar vattennivåerna med 0,05 m till 0,15 m. Om ett 200-årsregn används istället för samma scenario med delvis mättade markförhållanden blir förändringarna annorlunda. Tydligast blir det på Hallsbergs-Kumlaåsen där det bildas översvämningssytor med vattennivåer upp till 0,15 m. Utanför Kumlaanstalten blir vattennivåerna högre och de områden som för ett 100-årsregn fick högre vattennivåer syns inte lika tydligt. En jämförelse av utbredning för översvämningarna visar att för 100-årsregnet ökar arean med 0,3 km² medan ökningen för ett 200-årsregn är 0,1 km², trots reducerad infiltrationskapacitet i marken. En anledning till att arean inte ökar lika mycket för 200-årsregnet kan vara att mängden nederbörd som kommer från ett 200-årsregn är så pass stor att en högre infiltrationskapacitet inte påverkar då en stor mängd vatten stannar kvar på markytan oavsett.

Två områden (figur 29) som får lägre vattennivåer för ett 100-årsregn än referensscenariot är belägna norr om Kumlaby och utanför Kumlaanstalten. Anledningen till skillnaden norr om Kumlaby är förmodligen att den reducerade infiltrationskapaciteten gör att en större mängd vatten rinner av på ytan och ned mot Kumlaby som ses längst ned i bilden med ökade vattennivåer som följd. Skillnaden utanför Kumlaanstalten är däremot svårare att tolka. Ett förväntat resultat borde ha varit något högre vattennivåer. En möjlig orsak kan vara de låga värden som använts för Flood and Dry som gör att vatten snabbare kan rinna vidare till närliggande celler. Dock syns ingen tydlig ökning i vattennivåer i närliggande områden kring Kumlaanstalten för scenariot där marken är delvis mättad som hade kunnat bekräfta en sådan hypotes.

Scenario I3

I scenariot där marken är helt mättad förutom Hallsbergs-Kumlaåsen som har en halverad infiltrationskapacitet ses liknande samband mellan ett 100-årsregn (figur 21) som för ett 200-årsregn (figur 22). Utanför tätorten sker en förändring av vattennivåer som till stora delar är mindre än 0,05 m mellan scenario I3 och referenskartorna för både 100- och 200-årsregnet. I stora delar av Kumla blir vattennivåerna högre. Med vissa platser som sticker ut där vattennivåerna skiljer sig med över 0,35 m. För ett 100-årsregn blir effekterna liknande de som presenterades för scenario I2 med lägre vattennivåer norr om Kumlaby samt utanför Kumlaanstalten. Områden som drabbas av skillnader i vattennivå som överstiger 0,35 m i scenario I3 är främst belägna kring de passager under järnvägen som finns i Kumla. Med ett 200-årsregn blir differensen gentemot referenskartan snarlik som för ett 100-årsregn, förutom på Hallsbergs-Kumlaåsen där det bildas översvämningar med vattennivåer upp till 0,15 m.

Arean för utbredningen av översvämningen i scenario I3 avviker från det förväntade resultatet. I simuleringarna för ett 100- och 200-årsregn blir utbredningen i scenario I3 mindre än i scenario I2. Detta trots att infiltrationskapaciteten i scenario I3 är lägre i stora delar av Kumla än för scenario I2, vilket borde leda till att mer vatten stannar kvar på markytan och en utbredningen blir större. En anledning till skillnaden är att randvillkoren påverkar resultatet. Den öppna gränsen i modellen har en konstant vattenhastighet ut ur modellen. När mer vatten finns på markytan kan vatten nå denna gräns snabbare, randvillkoret som gäller gör att vatten flödar ut ur modellen som kan ligga bakom en minskat utbredning.

6.3.3 Avrinningskoefficient

När avrinningskoefficienter används vid simuleringar har parametrarna för markens råhet, infiltration och evaporation tagits bort. Detta gör att den mängd data som krävs inte är lika stor. I differenskartorna (figur 23-24) ses tydligt att områden utanför Kumla får lägre vattennivåer medan det i Kumla och främst på Hallsbergs-Kumlaåsen bildas högre vattennivåer. En stor anledning till detta resultat är att när avrinningskoefficienter använts har den beräknade nederbörden justerats. Då avrinningskoefficienten är betydligt lägre för öppen mark, åker och skog innebär detta att mängden vatten som faller på dessa ytor blir liten i jämförelse med referenskartorna. Användningen av avrinningskoefficienter på stora områden, så som en hel tätort kan ifrågasättas då en stor del data inte används. Påverkan från infiltration och evaporation får betydelse för hur mycket vatten som stannar kvar på

ytan medan markens råhet styr hur stort motstånd som finns mot vattenflöden. På mindre skala såsom enskilda kvarter eller mindre stadsområden kan avrinningskoefficienter vara mer användbar då den påverkan som kommer ifrån andra parametrar inte blir lika påtaglig. Då kan även ytor där olika avrinningskoefficienter gäller beskrivas mer detaljerat och ge en bättre beskrivning av översvämningar.

6.3.4 Flood and Dry

När parametern Flood and Dry förändras blir också definitionen för när en cell klassas som översvämmad annorlunda. I jämförelsen mellan referensvärden och rekommenderade värden ses att stora delar av Kumla får högre vattennivåer (figur 25-26) med DHI:s rekommenderade värden. Det beror förmodligen på att de rekommenderade värdena kräver högre vattennivåer för att tas med i beräkningarna. Det tar då längre tid för vatten att flöda mellan celler än med de värden som används som referens. Att definitionen för när en cell anses översvämmad i stor grad styr hur omfattande den resulterande översvämningen blir vid modellering är inte överraskande. En sänkning av värdena på Flood and Dry innebär att dynamiken för vattenflöden förbättras. Sänks värdena för mycket uppstår dock stabilitetsproblem i modellen. Parametern Flood and Dry bör därför användas till kalibrering av en modell snarare än att vara en styrande parameter vid översvämningsmodellering i urbana miljöer.

6.4 OSÄKERHETER

Till översvämningsmodellering kommer många osäkerheter. Den data som används kommer med osäkerheter i hur den införskattas, hur den bearbetas och används. Ofta används generella värden istället för platsspecifika, förenklingar som gör data mer användarvänlig påverkar även noggrannheten i data. Att validera resultatet av översvämningsmodelleringar är svårt. Ofta modelleras händelser som inte hänt tidigare eller saknar historisk data att jämföra med.

6.4.1 Data

Upplösningen på den höjddata som används påverkar resultaten vid översvämningsmodellering i stor utsträckning. En grov upplösning riskerar att inte fånga upp objekt som kan påverka flödesvägar och lågpunkter i topografin. Finare upplösning kan få med dessa objekt, dock återstår problematiken med att beskriva små ojämnheter. Exempel på dessa ojämnheter kan vara trottoarkanter som inte har en tillräckligt stor rumslig utbredning men som fortfarande påverkar utbredningen av översvämningar. I höjddata riskerar även broar, akvedukter och kulvertar att få en felaktig beskrivning då dessa ses som upphöjda områden. För att åtgärda dessa strukturer krävs en lokal kännedom för att ge en så korrekt beskrivning som möjligt av möjliga flödesvägar (MSB, 2014b).

Flera av de parametrar som används är baserade på generella (infiltration) eller rekommenderade värden (Mannings tal). Markens infiltrationskapacitet varierar i stor utsträckning med de förhållanden som råder. Har ett område påverkats av nederbörd under en tid innan ett skyfall inträffar kommer marken att ha en låg infiltrationskapacitet. I motsatt fall kan ett område haft en lång period utan nederbörd och marken får då generellt en högre infiltrationskapacitet. Utbredningen och vattennivåerna från en översvämning kan skilja sig mycket mellan dessa två situationer (tabell 13 och figur 20-21).

Vid beskrivning av markens råhet användes i detta arbete Mannings tal som parameter med hjälp av Vägverkets (2008) rekommenderade värden för olika marktyper. I verkligheten varierar Mannings tal även inom enskilda marktyper och under olika årstider. Arbetet med att bestämma Mannings tal mer exakt för flera marktyper inom ett större område är omfattande och väldigt tidskrävande. Ett sätt att få information om vegetation i ett område kan fås genom att använda LiDAR data. Då fås information om topografi och vegetationens höjd som gör att motståndet mot vattenflöden kan bestämmas (Bales & Wagner, 2009). I scenario M3 som höjdes Mannings tal för flera av de marktyper som finns i Kumla. Resultatet visade på att både utbredningen och vattennivåerna ökade. Det belyser vikten av att göra en noggrann skattning av Mannings tal om möjligheten till bestämning på plats eller via LiDAR data inte är möjlig. Används värden som är för låga riskerar den resulterande översvämningen att underskattas och konsekvensen att planerade åtgärder inte för önskad effekt. För höga värden på Mannings tal gör istället att en överskattning av översvämningen kan ske och resurser som används till motverkande åtgärder inte nyttjas i en tillräckligt hög grad.

Den beräknade nederbörden som används är baserad på framtidsscenarioer framtagna av IPCC och justerade med en klimatkoefficient. Dessa scenarier kan mycket väl förändras i framtiden vilket gör att de nederbördstillfällena som används behöver räknas om. Vid skyfall är dynamiken som finns i nederbörden svår att beskriva då det sker under en kort tidsperiod och med liten geografisk utbredning. Hänsyn måste även tas till ledningsnät för dagvattensystem som förändras med tiden då nya dimensioneringar krävs. Det avdrag som görs motsvarande ett regn med en återkomstid på 10-år gäller förmodligen inte överallt. Hur tät bebyggelsen är i ett område påverkar i stor grad mängden vatten som rinner av på ytan och då belastar ledningsnätet. Som WMO (2009) skriver är en av de stora utmaningarna med hantering av översvämningar illusionen om absolut säkerhet. Resultatet av en översvämningssmodellering bör därför ses som ett sätt att identifiera riskområden och inte vara ett svar på var vattenmassor ansamlas.

6.4.2 Validering

Något som är svårt med skyfallskartering är validering av resultaten. De designregn som används är ofta teoretiska och en tidigare översvämning av liknande storlek saknas ofta data för. I fallet för Kumla finns ingen översvämning noterad av liknande storlek. Som grund för huruvida resultaten är rimliga eller inte ligger därför den lågpunktskartering som gjordes, tillsammans med bilder från den översvämning som skedde i Hallsberg 2015 där Kumla på vissa bilder syns i bakgrunden. Magnus Jewert på Norconsult har även bidragit med resonemang kring rimligheten i resultaten. Dessa tre källor anses därför ge resultaten grund för att inte vara orimliga och därav användbara vid planering av åtgärder mot översvämningar.

7 SLUTSATSER

Översvämningen som bildas av ett 100- respektive 200-årsregn i Kumla får en utbredning på 4,6 km² respektive 5,4 km². Vattennivåerna till följd av ett 100-årsregn blir mindre än 1 m i stora delar av Kumla. För ett 200-årsregn får stora delar av Kumla vattennivåer som överstiger 1 m. Området Kumlaby i sydöstra Kumla har identifierats som ett känsligt område för översvämningar till följd av placering mellan två höjder och jordlager bestående av lera.

Styrande modellparametrar bedöms vara markens råhet och infiltrationskapacitet. Infiltrationskapaciteten är styrande för hur mycket vatten som återfinns på ytan medan råheten styr hur snabbt vatten kan flöda i modellen. Parametern Flood and Dry påverkar även resultatet, dock bör denna inte användas som en styrande parameter vid modellering utan istället användas för kalibrering.

Användning av avrinningskoefficienter istället för markens råhet, infiltration och evaporation kan vara ett lämpligt alternativ om mindre områden undersöks där en mer noggrann definiering kan göras av markytan. För områden som inte tillhör urban miljö bör avrinningskoefficienter inte användas för nederbörd med långa återkomsttider eller intensiva nederbördstillfällen som skyfall. Hänsyn måste oavsett tas till att marken kan bli vattenmättad varvid koefficienterna snabbt ökar.

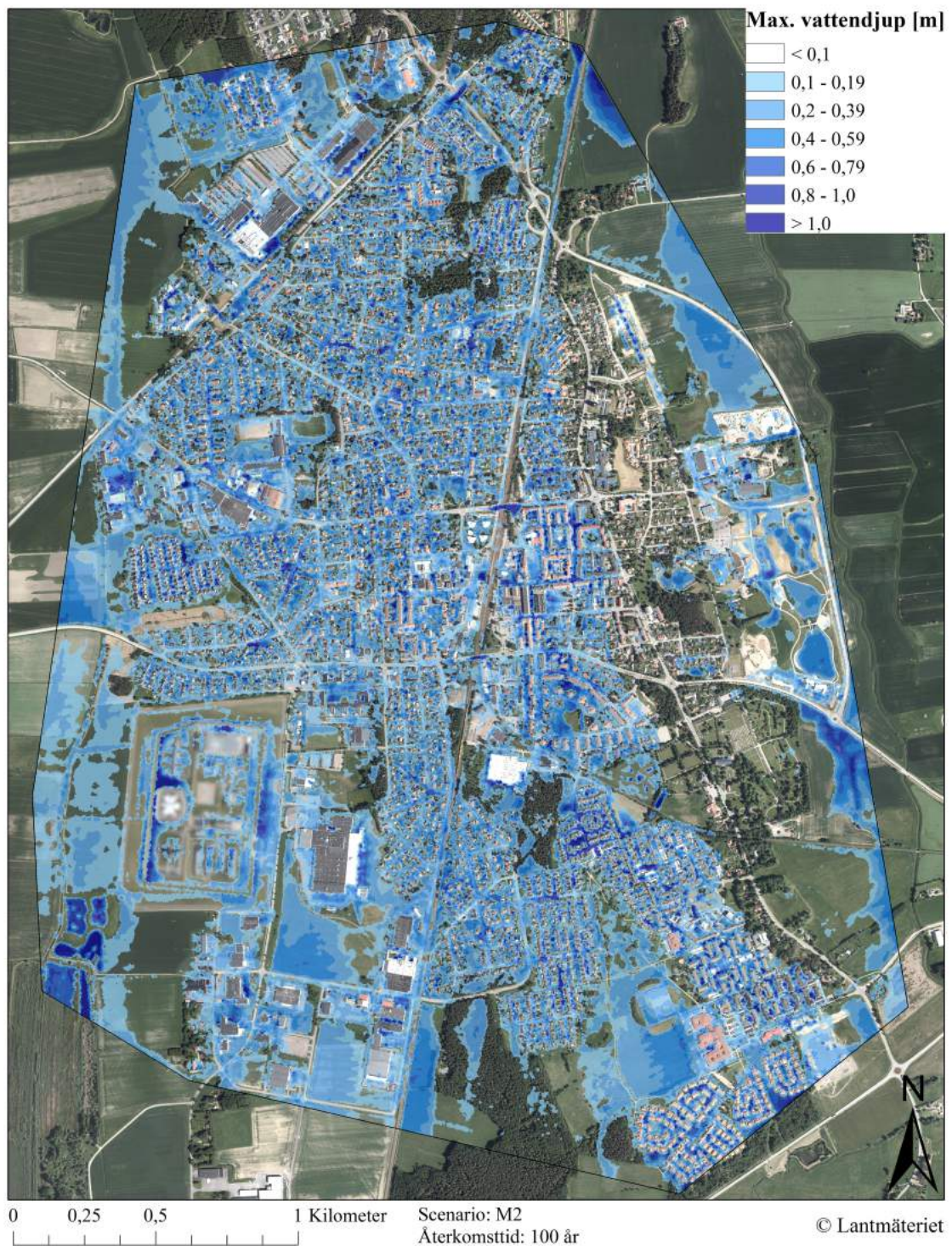
Installation av gröna tak på byggnader får en effekt på översvämningar i form av lägre vattennivåer och minskad utbredning. Detta på grund av den lagringskapacitet som finns och ett ökat motstånd mot vattenflöden.

Referenser

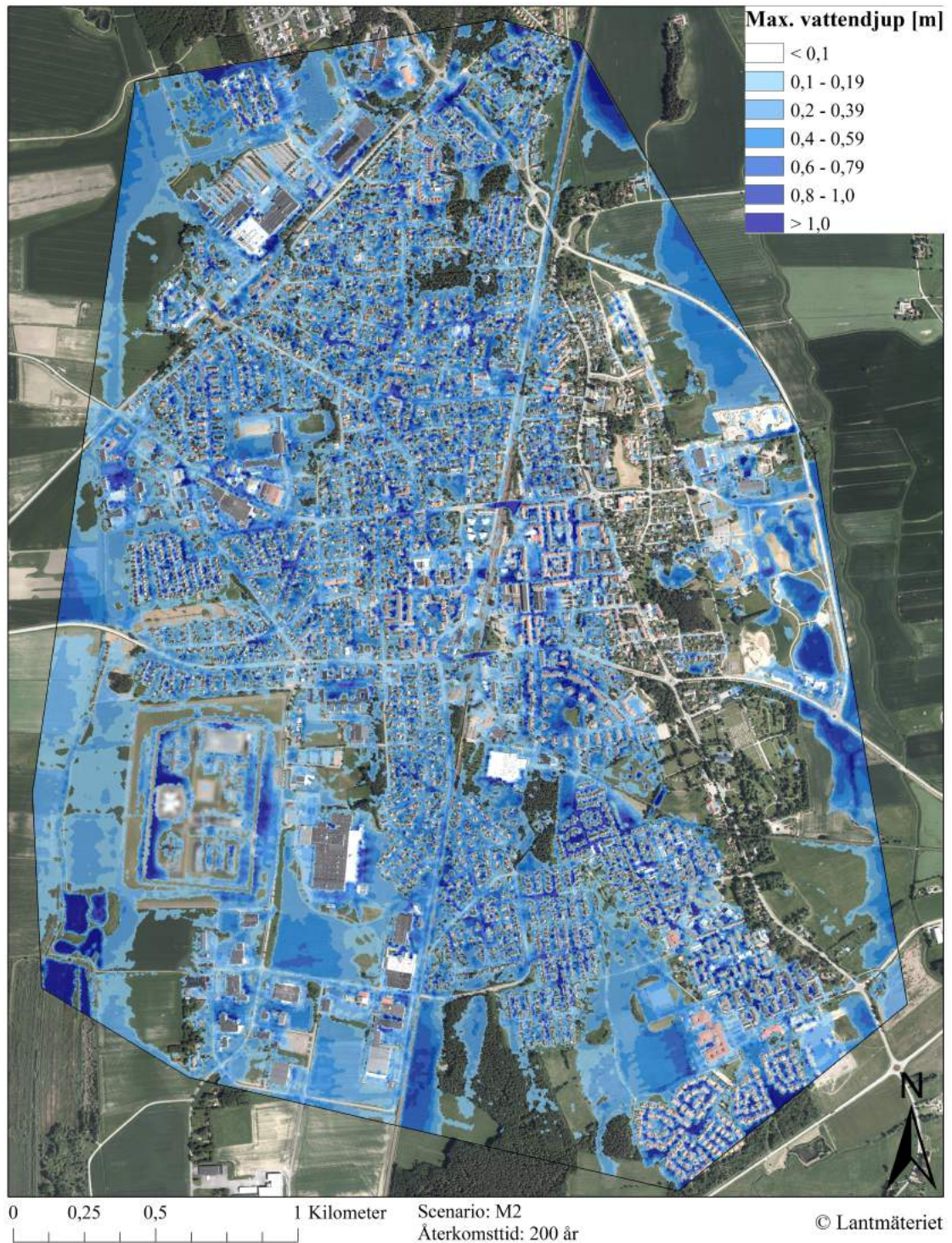
- Bales, J.D., Wagner, C.R. (2009). Sources of uncertainty in flood inundation maps. *Journal of Flood Risk Management.*, vol. 2 (2), s. 139-147.
- Bengtsson, L., Grahn, L., Olsson, S. (2005). Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden. *Nordic Hydrology*, vol. 36 (3), s. 259-268.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw Hill.
- Dahlström, B (2010). *Regnintensitet - en molnfysikalisk betraktelse*. Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling. (2010-05).
- DHI (2011a). *MIKE 21 Flow Model FM - Hydrodynamic Module, User guide*.
- DHI (2012). *MIKE Zero - Mesh Generator, Step-by-step training guide*.
- DHI (2016a). *MIKE Our products*, Tillgänglig: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products> [2016-01-25].
- DHI (2016b). *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Hydrodynamic and Transport Module, Scientific Documentation*.
- EPA, United States Environmental Protection Agency (2009). *Green Roofs for Stormwater Runoff Control*. EPA/600/R-90/026.
- 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, s. 261-279.
- Förordningen om översvänningsrisker (2009). Stockholm. (SFS 2009:956).
- Hernebring, C. & Mårtensson, E. (2013). *Pluviala översvämningar - Konsekvenser vid skyfall över tätorter*. Göteborg och Lund: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (MSB567-13). ISBN 978-91-7383-347-9.
- Lantmäteriet (2015). *GSD-Höjddata, grid 2+*. Tillgänglig: <http://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/Hojddata/GSD-Hojddata-grid-2/> [2017-01-29]
- Larsson, R. (2008). *Jords egenskaper*. Linköping: Statens Geotekniska Institut. ISSN 0281-7578.
- Mentens, J., Raes, D., Hermy M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?. *Landscape and Urban Planning*, vol 77, s. 217-226.
- Messner, F., Penning-Roswell, E., Green, C., Meyer, V., Tunstall, S., van der Veen, A. (2007). *Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods*. T09-06-01.

- MSB (2014a). *Förordningen om översvämningsrisker - Arbetet i steg 3*. Karlstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. [Faktablad]. Tillgänglig: https://www.msb.se/Upload/Forebyggande/Naturolyckor_klimat/oversvaming/Faktablad%20sep%202014.pdf [2017-01-24].
- MSB (2014b). *Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet - Framtagande av metodik för utredning på kommunal nivå*. Mamlö: MSB (MSB694). ISSN 978-91-7383-446-9.
- Statistiska centralbyrån (2016). *Folkmängd per tätort. Vart femte år 1960-2016*. Tillgänglig: http://www.statistikdatabasen.scb.se/px-web/sv/ssd/START_BE_BE0101_BE0101A/FolkmangdTatort/?rx-id=177f180a-72b0-4ab4-bd5f-0cb59e713fcd [2017-05-17].
- SMHI (2015a). *Rötblöta och skyfall*. Tillgänglig: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/rotblota-1.17339> [2017-01-27].
- SMHI (2015b). *Översvämningar*. Tillgänglig: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/oversvamningar-1.5949> [2017-01-24].
- SMHI (2015d). *Hur mäts nederbörd?*. Tillgänglig: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/hur-mats-nederbord-1.637> [2017-02-22].
- Svenskt Vatten (2004). *Dimensionering av allmänna avloppsledningar*. Stockholm: Svenskt Vatten (P90). ISSN 1651-4947.
- Svenskt vatten (2013). *Utvärdering av Svenskt Vattens rekommenderade sammanvägda avrinningskoefficienter*. Svenskt Vatten AB (2013-05).
- Svenskt Vatten (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten*. Stockholm. (P110). ISSN 1651-4947.
- Svenskt Vatten (2017). *Beredskapsplanering för skyfall*. Stockholm: Svensk Vatten Utveckling. (2017-03).
- Tao, J., Li, Z., Peng, X. et al. *Front. Environ. Sci. Eng.* (2017) 11:11. DOI: 10.1007/s11783-017-0952-4.
- VISS (2015). *Hallsberg-Kumlaåsen*. Tillgänglig: <https://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterEUID=SE656300-146249#> [2017-02-21].
- Vägverket (2008). *VVMB 310 Hydraulisk dimensionering*. Borlänge: Vägverket (2008:61). ISSN 1651-4947.
- WMO (2009). *Integrated Flood Management - Concept paper*. Genève: World Meteorological Organization. (WMO-No. 1047). ISBN 978-92-63-11047-3.

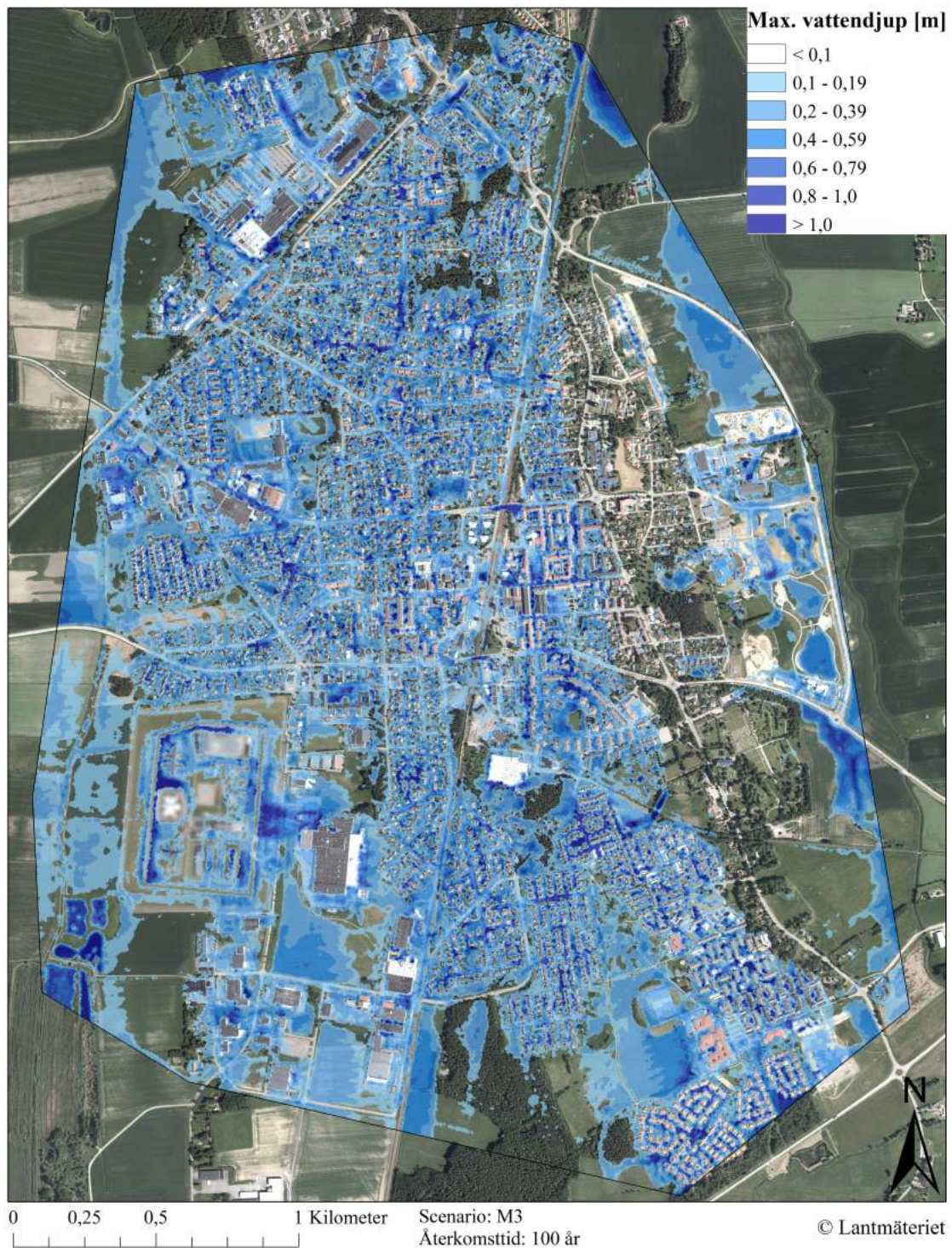
APPENDIX A - ÖVERSVÄMNINGSKARTOR



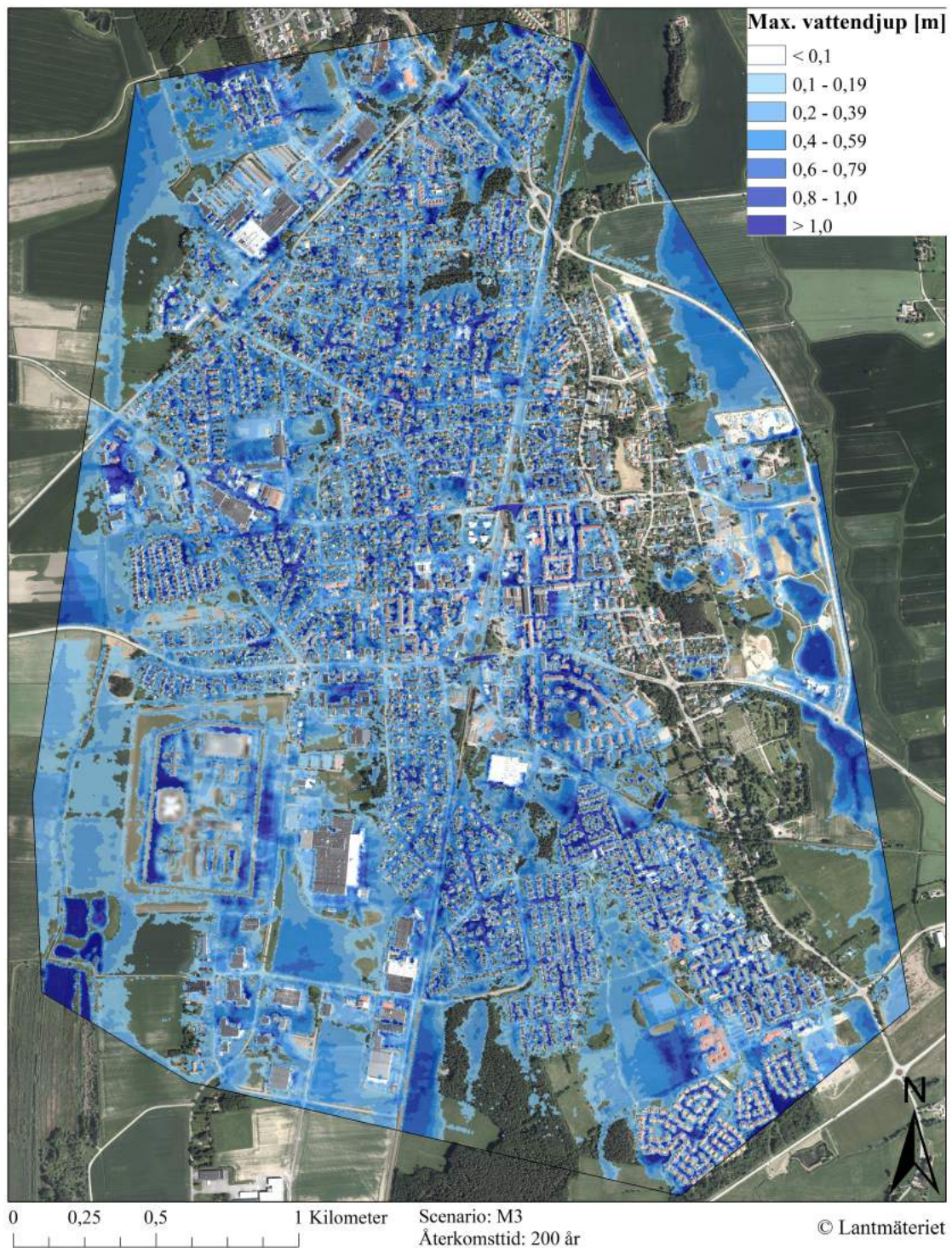
Figur 30. Översvämningsutbredning och vattennivåer i Kumla till följd av ett skyfall motsvarande ett 100-årsregn med en varaktighet på 30 minuter när gröna tak installerats på alla byggnader. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto av Lantmäteriet.



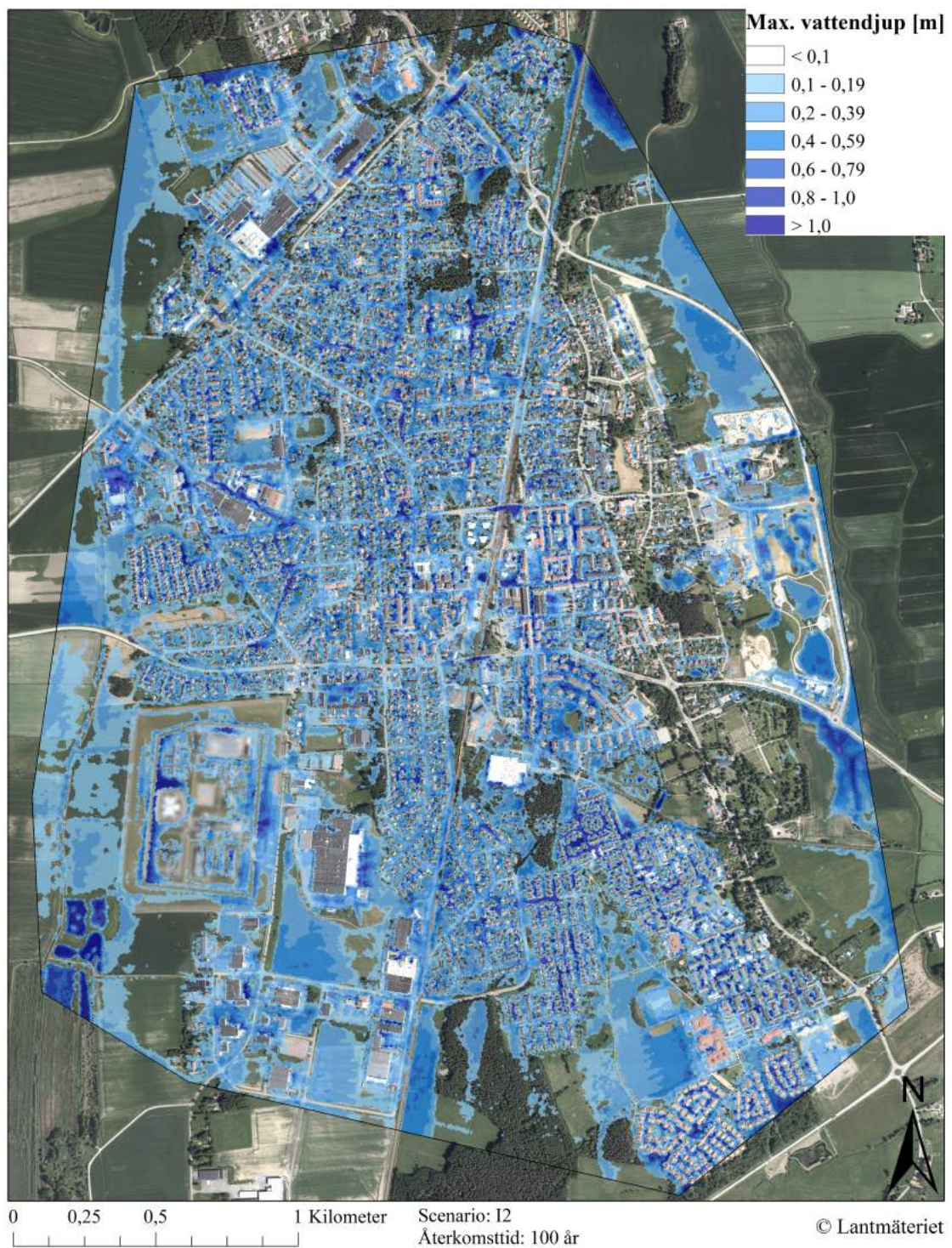
Figur 31. Översvämningsutbredning och vattennivåer i Kumla till följd av ett skyfall motsvarande ett 200-årsregn med en varaktighet på 30 minuter när gröna tak installerats på alla byggnader. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto av Lantmäteriet.



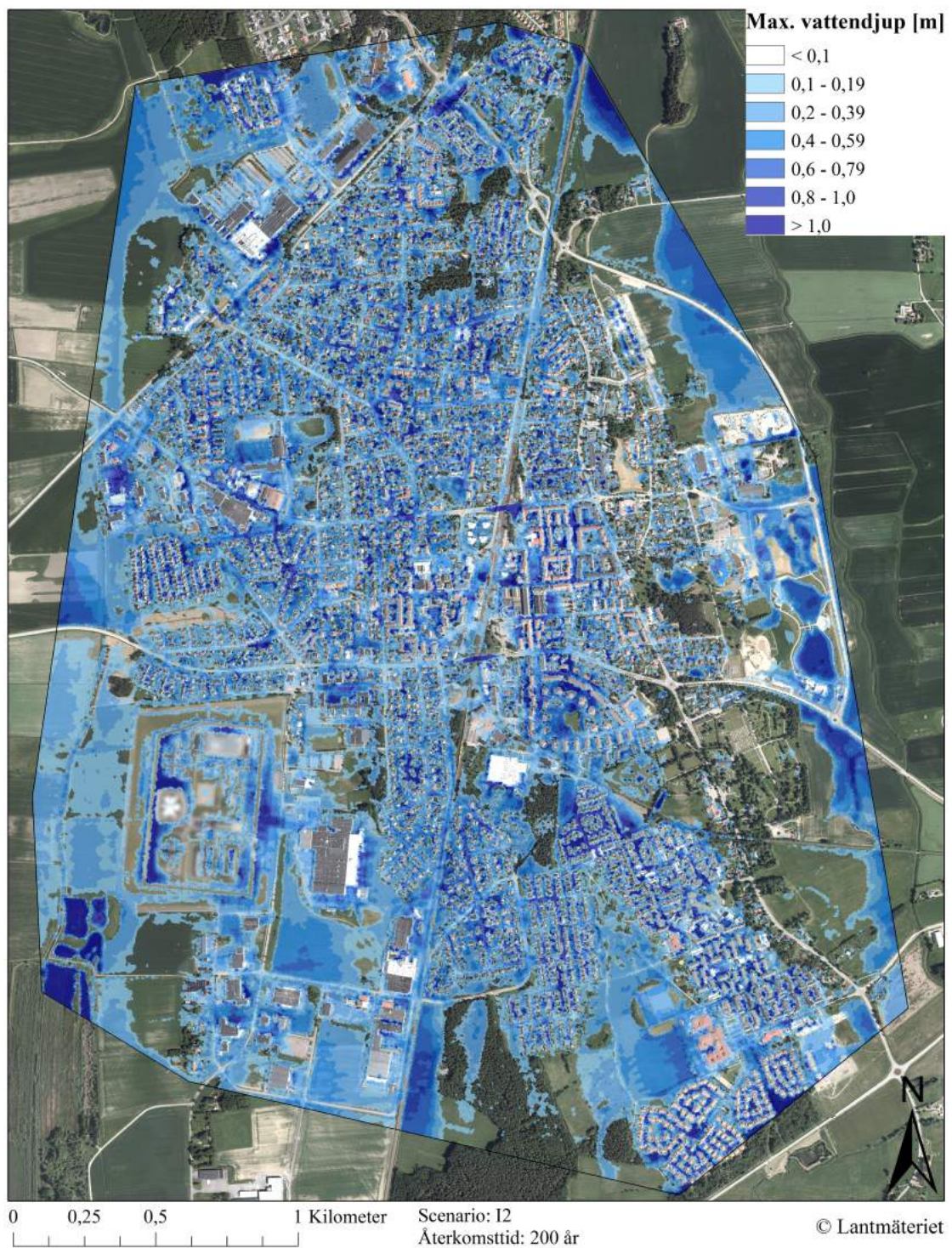
Figur 32. Översvämningsutbredning och vattennivåer i Kumla till följd av ett skyfall motsvarande ett 100-årsregn med en varaktighet på 30 minuter när Mannings tal höjts för alla ytor. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto av Lantmäteriet.



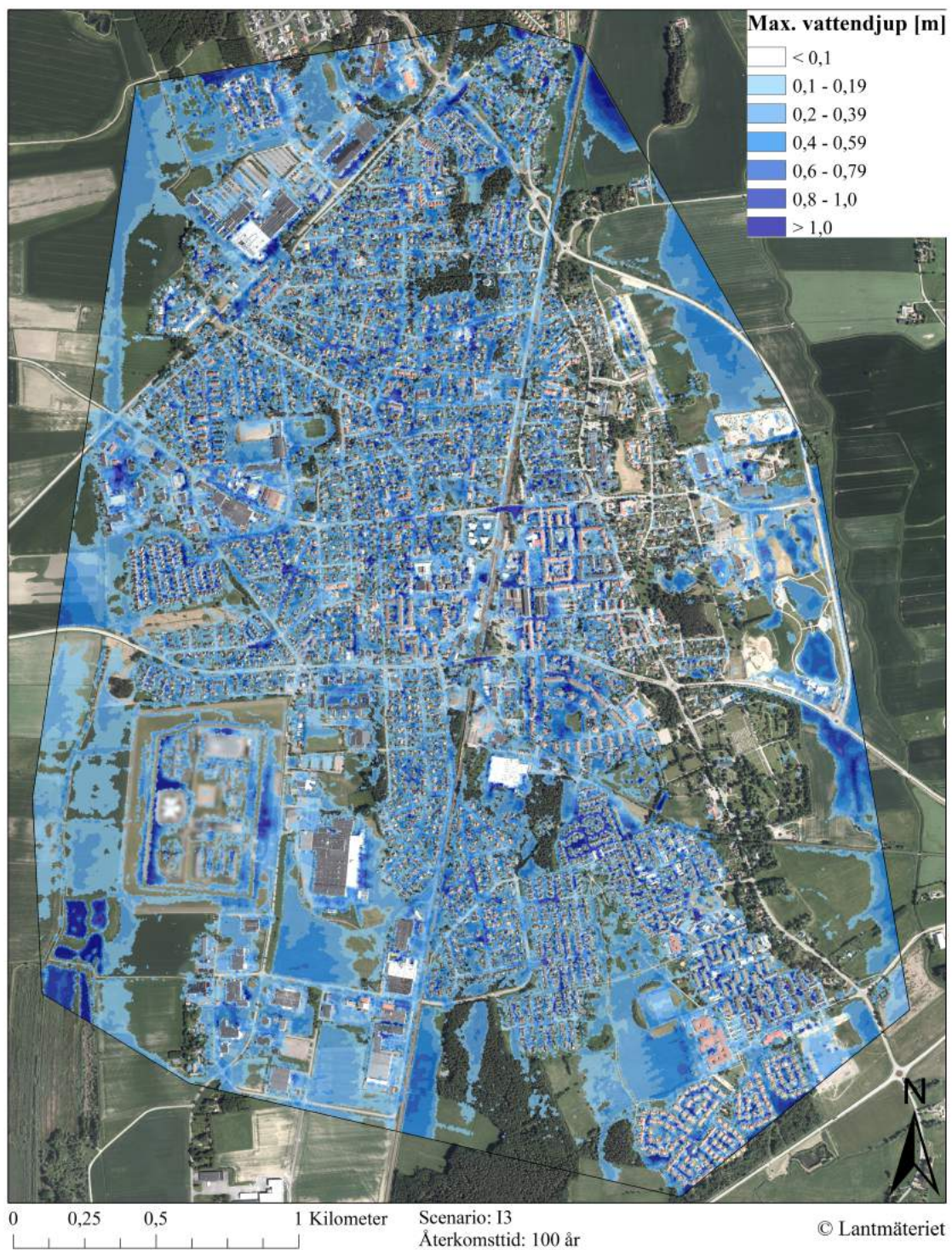
Figur 33. Översvämningsutbredning och vattennivåer i Kumla till följd av ett skyfall motsvarande ett 200-årsregn med en varaktighet på 30 minuter när Mannings tal höjts för alla ytor. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto av Lantmäteriet.



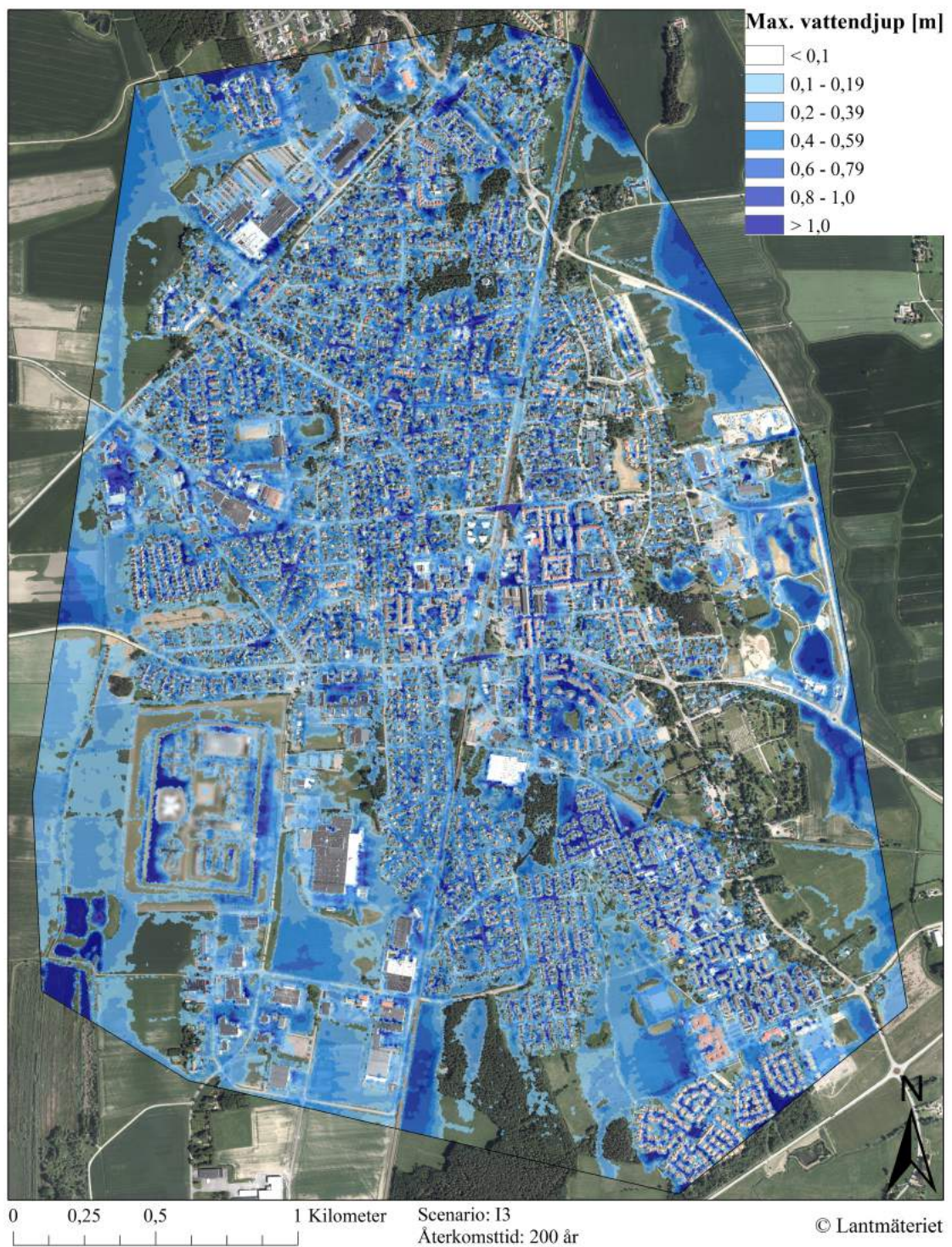
Figur 34. Översvämningsutbredning och vattennivåer i Kumla till följd av ett skyfall motsvarande ett 100-årsregn med en varaktighet på 30 minuter när markens infiltrationskapacitet halverats för alla markytor. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto av Lantmäteriet.



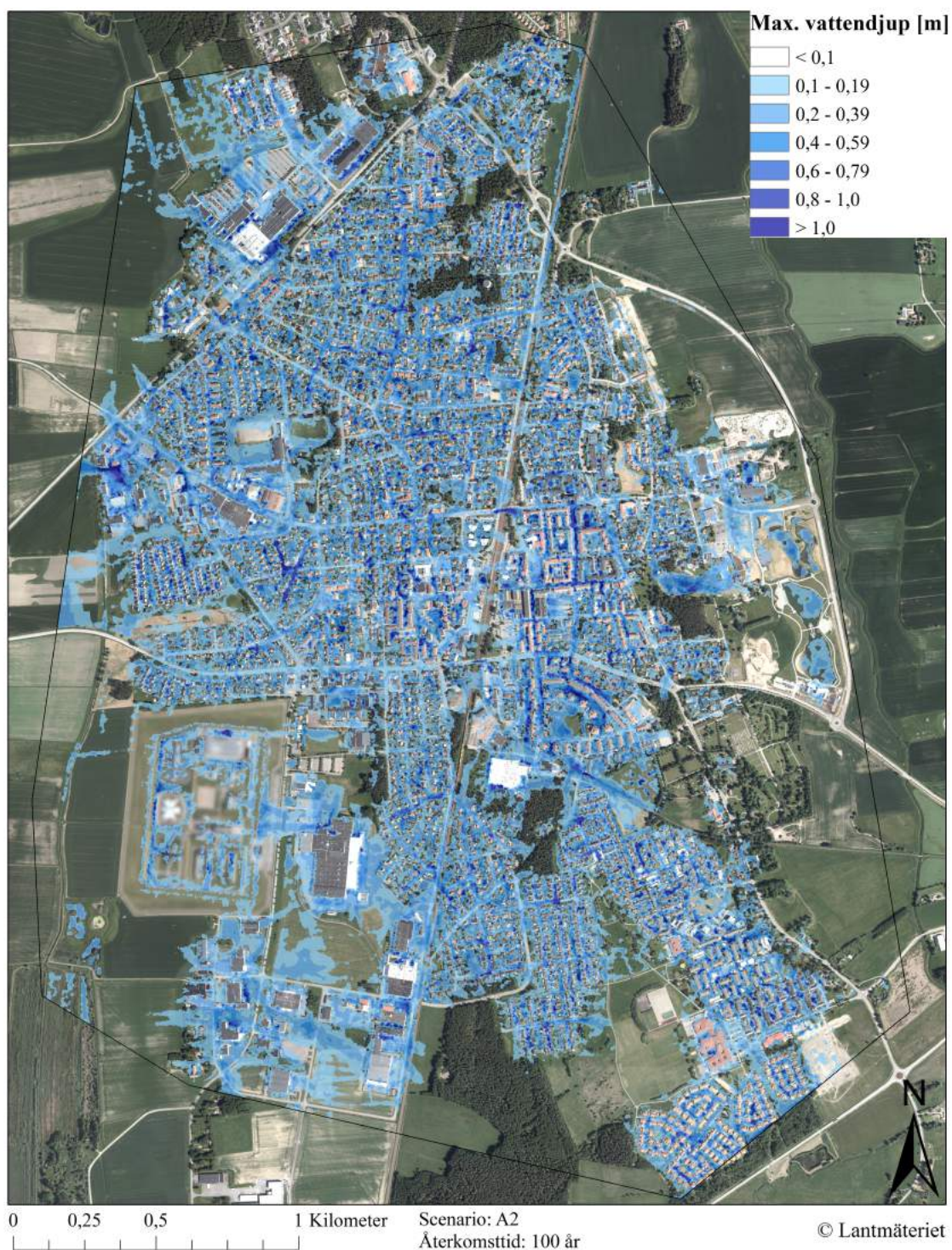
Figur 35. Översvämningssutbredning och vattennivåer i Kumla till följd av ett skyfall motsvarande ett 200-årsregn med en varaktighet på 30 minuter när markens infiltrationskapacitet halverats för alla markytor. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto av Lantmäteriet.



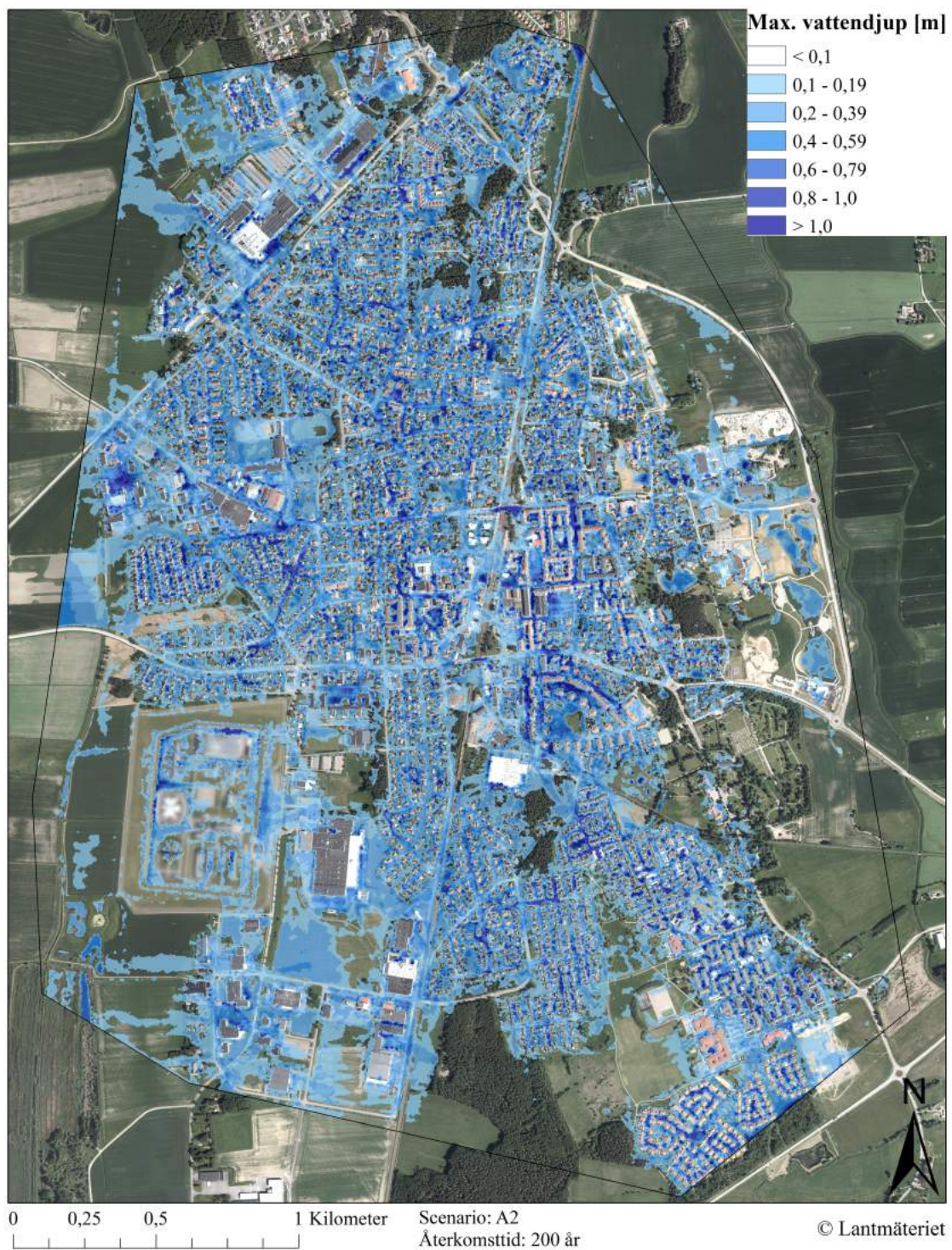
Figur 36. Översvämningsutbredning och vattennivåer i Kumla till följd av ett skyfall motsvarande ett 100-årsregn med en varaktighet på 30 minuter när markens infiltrationskapacitet satts till noll förutom på Hallsbergs-Kumlaåsen där infiltrationen halverats. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto av Lantmäteriet.



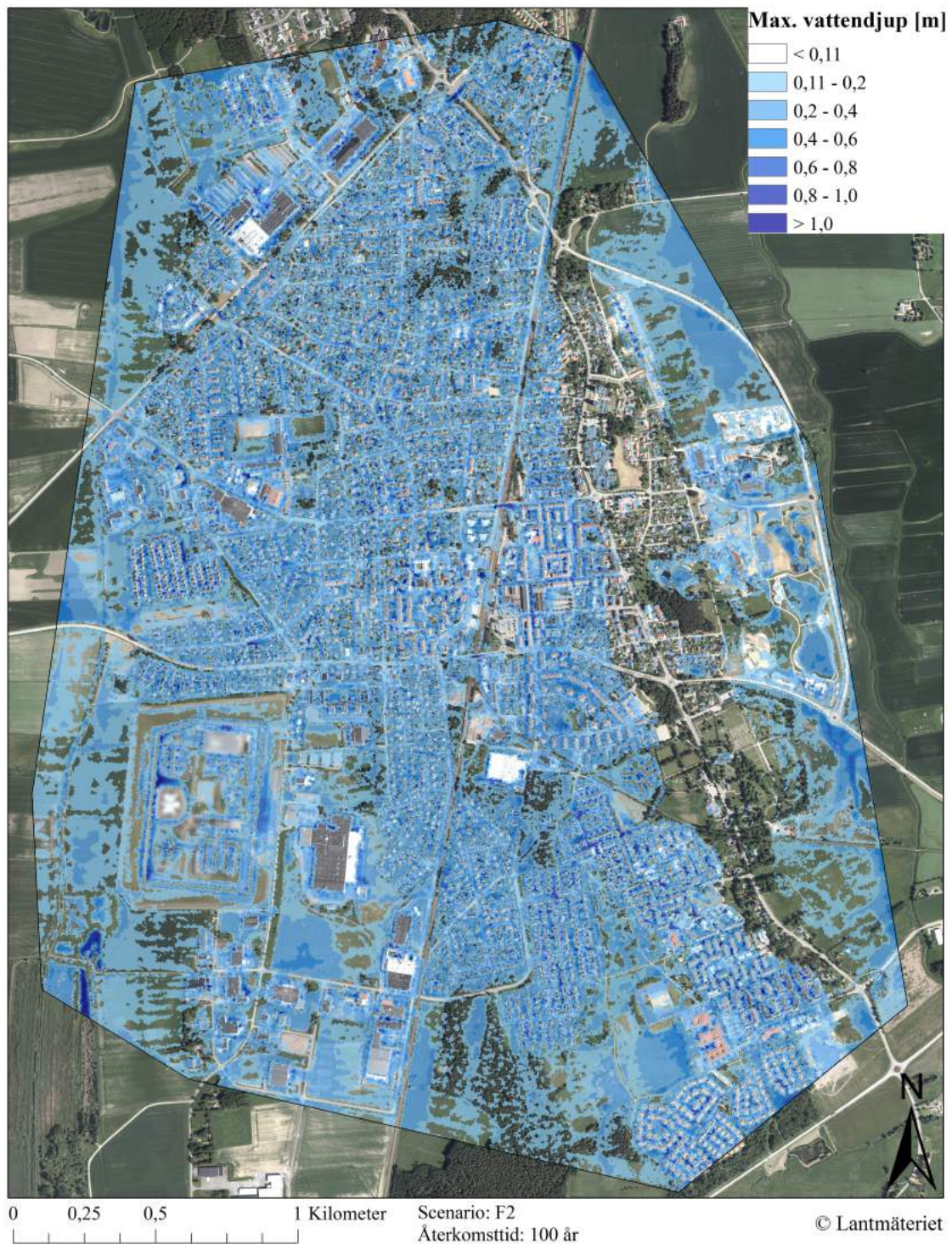
Figur 37. Översvämningssutbredning och vattennivåer i Kumla till följd av ett skyfall motsvarande ett 200-årsregn med en varaktighet på 30 minuter när markens infiltrationskapacitet satts till noll förutom på Hallsbergs-Kumlaåsen där infiltrationen halverats. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto av Lantmäteriet.



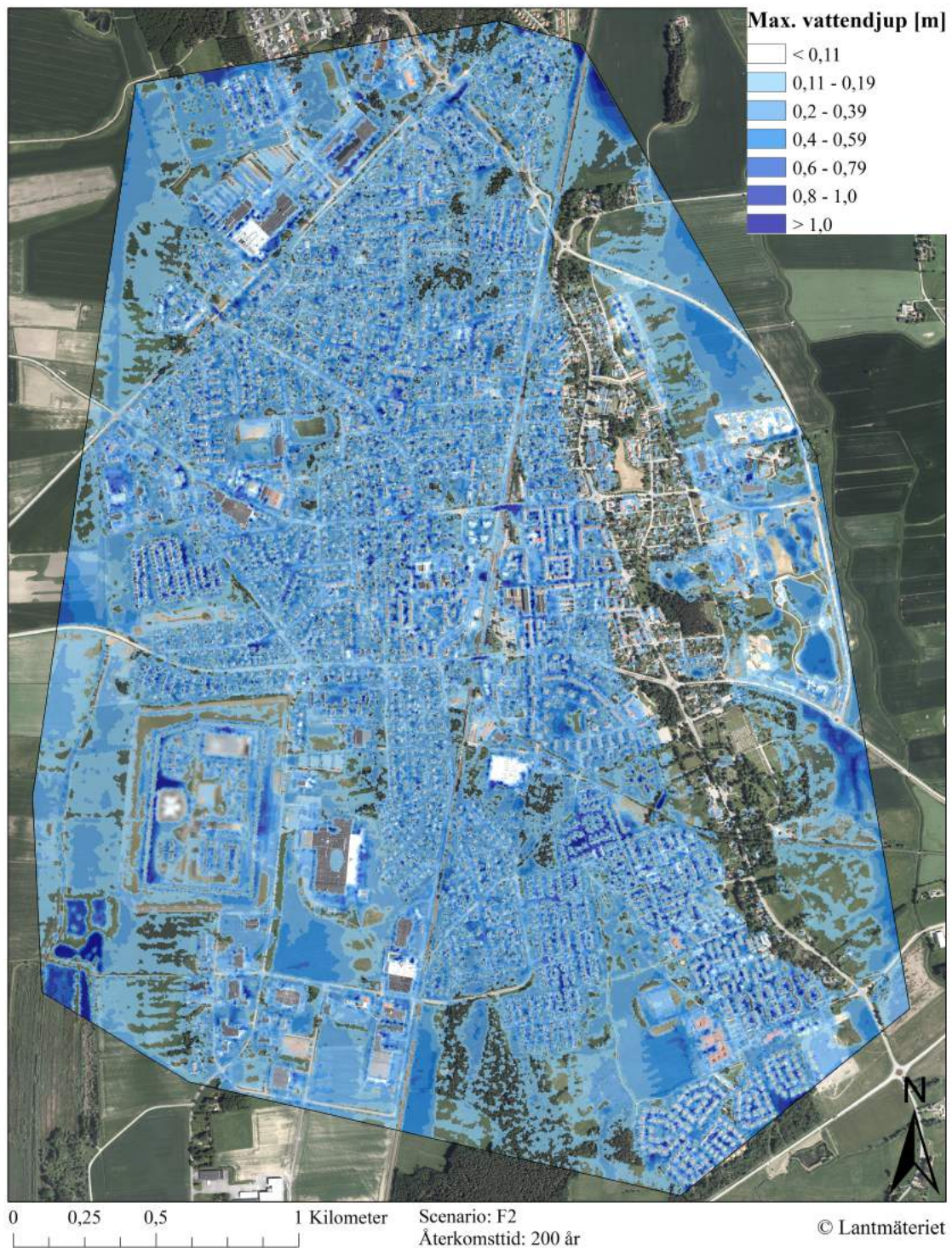
Figur 38. Översvämningsutbredning och vattennivåer i Kumla till följd av ett skyfall motsvarande ett 100-årsregn med en varaktighet på 30 minuter när sammanvägda avrinningskoefficienter används istället för värden på markens råhet, infiltration och evaporation. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto av Lantmäteriet.



Figur 39. Översvämningsutbredning och vattennivåer i Kumla till följd av ett skyfall motsvarande ett 200-årsregn med en varaktighet på 30 minuter när sammanvägda avrinningskoefficienter används istället för värden på markens råhet, infiltration och evaporation. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto av Lantmäteriet.



Figur 40. Översvämningsutbredning och vattennivåer i Kumla till följd av ett skyfall motsvarande ett 100-årsregn med en varaktighet på 30 minuter när rekommenderade värden på Flood and Dry används. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto av Lantmäteriet.



Figur 41. Översvämningsutbredning och vattennivåer i Kumla till följd av ett skyfall motsvarande ett 100-årsregn med en varaktighet på 30 minuter när rekommenderade värden på Flood and Dry används. Bakgrundskartan kommer från GSD-Ortfoto av Lantmäteriet.