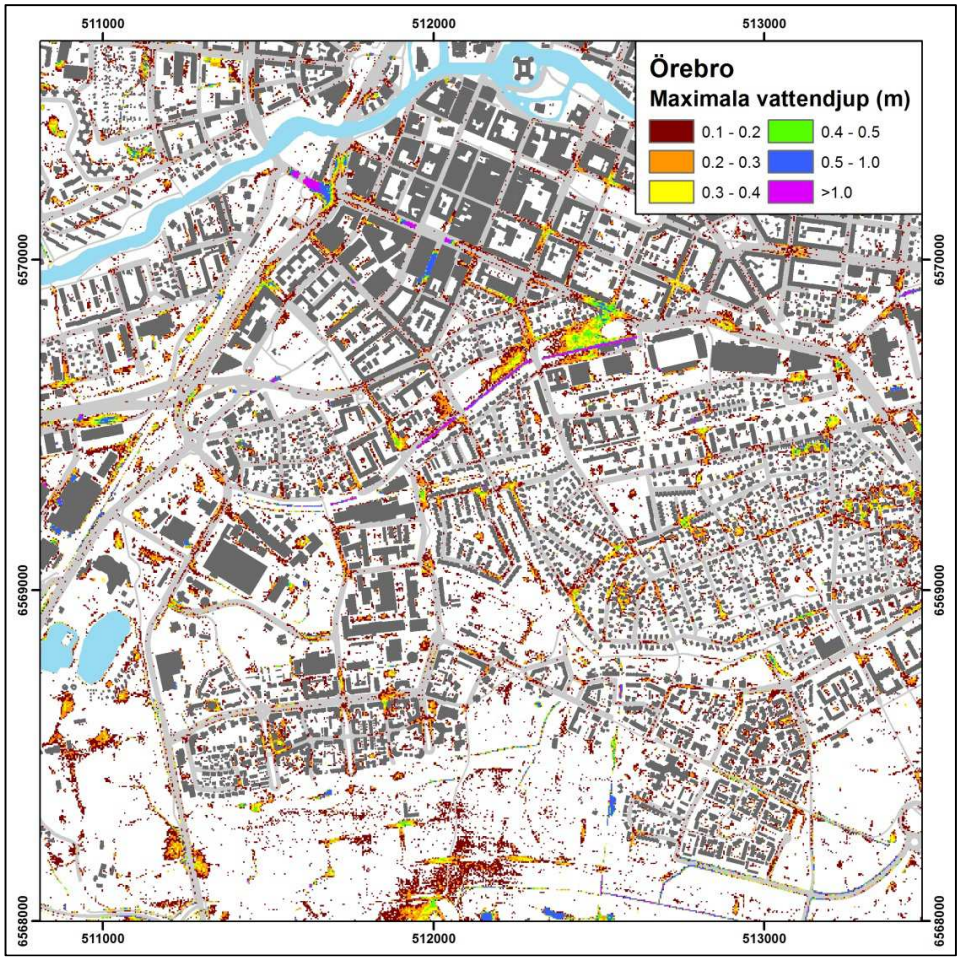
Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

Kartläggning av skyfalls påverkan på samhälls-viktig verksamhet

Framtagande av metodik för utredning på kommunal nivå



MSB:s kontaktpersoner:
Erik Bern, 010-240 50 09
Ulrika Postgård, 010-240 50 33

Publikationsnummer MSB694 - maj 2014
ISBN 978-91-7383-446-9

Förord

DHI har på begäran från MSB utarbetat föreliggande rapport. Uppdraget gavs till DHI under hösten 2013 och handlade om att ta fram en lämplig metodik för kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet. Studien ska utgöra ett underlag till en vägledning på kommunal nivå.

Rapporten har författats av Erik Mårtensson och Lars-Göran Gustafsson (båda från DHI Sverige AB).

Malmö

Maj 2014.

Innehållsförteckning

1. Inledning 7
1.1 Bakgrund 7
1.2 Syfte 8
1.3 Rapportinnehåll 8
2. Metodval 9
2.1 Identifiering av metoder 9
2.2 Värdering av metoder 10
2.3 Rekommenderad metod 12
2.3.1 Hänsyn till ledningssystemets kapacitet 13
2.3.2 Hänsyn till markens infiltrationskapacitet 14
2.3.3 Val av regn 15
3. Känslighetsanalyser 16
3.1 Tvådimensionell markavrinningsmodell 16
3.1.1 Numerisk upplösning 17
3.1.2 Ytans råhet 19
3.1.3 Strukturer 22
3.1.4 Vattendrag 25
3.2 Ledningsnätets kapacitet 27
3.3 Sammanfattning och rekommendationer 29
4. Tillämpning av metodik 32
4.1 Modellbeskrivning 32
4.2 Resultat – Älvsbyn 32
4.3 Resultat – Örebro 34
5. Analys av konsekvenser på samhällsviktig verksamhet 38
5.1 Resultat – Örebro 38
6. Slutsatser och rekommendationer 42
Referenser 44

Bilaga 1: Resultat Älvsbyn – maximala vattendjup 45

Bilaga 2: Resultat Örebro – maximala vattendjup 49

Bilaga 3: Resultat Örebro – påverkan på samhällsviktig verksamhet 58

Sammanfattning

Tillgängliga metoder för kartläggning av skyfalls konsekvenser på samhällsviktig verksamhet har identifierats och värderats. Utifrån nämnda värdering rekommenderas en metod som baseras på hydrodynamisk avrinningsberäkning i 2D. Denna typ av beräkning ger en fysikalisk korrekt beskrivning av markavrinningen i samband med extrem nederbörd till skillnad från enklare GIS-analyser.

Motivet till att exkludera detaljerad modellering av ledningsnätet grundar sig huvudsakligen på att syftet är att kartlägga konsekvenser av mycket extrema regn. Vid dessa skyfall är ledningssystemets kapacitet begränsad i förhållande till regnvolym och intensitet. Det rekommenderas dock att hänsyn tas till dagvattensystemets bedömda kapacitet och markens infiltrationsförmåga, t.ex. genom schablonmässiga avdrag från nederbördsvolymen. Annars riskerar såväl beräknad översvämningsutbredning som vattendjup att överskattas. 2D-analysen kräver även en mindre mängd indata och är betydligt snabbare att genomföra (och därmed billigare) än en kombinerad 1D/2D-analys, dvs. en kopplad ledningsnäts- och markavrinningsmodell.

Fördelarna med att inkludera en ledningsnätsmodell för dagvattensystemet är att en del av osäkerheten i bedömningen av systemets kapacitet försvinner samt att användningsområdet för modellen vidgas. Det rekommenderas att börja med en översiktlig 2D-analys för att senare, vid behov av detaljstudier, koppla på en hydraulisk ledningsnätsmodell.

Baserat på resultaten från ett flertal känslighetsanalyser rekommenderas en numerisk upplösning på 4 m eller bättre, att en bearbetning av höjdmodellen görs för att ta hänsyn till byggnader och viadukter samt att ytans råhet differentieras mellan olika markanvändningstyper.

Vald metod har tillämpats på städerna Örebro och Älvsbyn och för Örebro har påverkan på tre olika samhällsektorer utvärderats. Påverkan har utvärderats via en kvantitativ analys där vattendjup invid utvalda verksamheter analyserats. Innan eventuell åtgärdsplanering påbörjas rekommenderas att en mer kvalitativ analys görs där påverkan för respektive verksamhet studeras mer detaljerat. Det kan då även vara motiverat med högre detaljeringsgrad vad gäller t.ex. översvämningsberäkningens numeriska upplösning och koppling till en ledningsnätsmodell.

Sammantaget ger den beskrivna och rekommenderade metodiken en översiktlig bild av påverkan från skyfall på samhällsviktig verksamhet med en måttlig arbetsinsats. Metodiken kan med fördel användas av kommuner i deras risk- och sårbarhetsanalyser samt vid såväl översikts- som detaljplanering.

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Denna förstudie är ett första steg för att på sikt kunna ta fram en vägledning för att på kommunal nivå kartlägga vilken samhällsviktig verksamhet som kan påverkas av ett skyfall.

Kommunerna har till uppgift att identifiera och värdera de risker och sårbarheter som finns inom kommunens geografiska område. Resultatet av arbetet ska sammanställas i en risk- och sårbarhetsanalys. Syftet är att öka medvetenheten och kunskapen om hot, risker och sårbarheter samt att skaffa ett underlag för den egna planeringen. Risk- och sårbarhetsanalyserna bidrar därmed till att minska samhällets sårbarhet och ökar förmågan att hantera kriser och extraordinära händelser. I arbetet med sina risk- och sårbarhetsanalyser bör kommunerna kunna kartlägga vilken samhällsviktig verksamhet som påverkas av till exempel skyfall.

Denna förstudie är också ett led i arbetet med Översvämningsdirektivet (2007/60/EC) som i Sverige genomförs genom förordningen (SFS 2009:956) om översvämningsrisker och genom föreskrift (MSBFS 2010:1) om länsstyrelsernas planer för hantering av översvämningsrisker (rikshanteringsplaner). Syftet med direktivet är att minska de negativa konsekvenserna av översvämningar och på så sätt värna om människors hälsa, skydda miljön, kulturarv och ekonomisk verksamhet. Detta ska ske genom ett systematiskt arbete med att kartlägga översvämningshot och översvämnings-risker och att ta fram riskhanteringsplaner för de översvämningshotade områdena.

Arbetet sker i cykler om sex år där varje cykel innehåller tre steg. Då arbetet i den första cykeln baserades på tillgängliga data och historiskt inträffade översvämningar avgränsades arbetet till att omfatta översvämningar från sjöar och vattendrag. Översvämningar orsakade av skyfall är exkluderade då det i dagsläget inte finns någon systematisk metod att för hela landet studera effekterna av skyfall. I nästa cykel som påbörjas år 2016 bör däremot samtliga översvämningstyper relevanta för Sverige ingå.

Skyfall, det vill säga stora nederbördsmängder på kort tid, är lokala företeelser och uppkommer oftast i samband med åskskurar på sommaren. På grund av att de är så lokala är det svårt att prognostisera exakt var de inträffar. Att studera var skyfall historiskt sett inträffat i landet är också svårt då nederbördsstationerna inte täcker hela landet och skyfallen lika väl kan hamna mellan stationerna som vid stationerna.

Föreliggande studie ska utgöra underlag till en vägledning för att kartlägga påverkan på samhällsviktig verksamhet efter skyfall.

1.2 Syfte

Syftet med studien är att ta fram en metod för att identifiera vilka samhällsviktiga verksamheter i en tätort som påverkas av ett skyfall. Resultatet från studien ska också kunna användas i arbetet med översvämningsdirektivet. Studien ska ge ett underlag till en vägledning som beskriver hur kommunerna kan kartlägga vilka samhällsviktiga verksamheter som påverkas av ett skyfall.

1.3 Rapportinnehåll

Rapporten beskriver och värderar de metoder som idag finns tillgängliga och används för kartläggning av konsekvenser av skyfall (kapitel 2). Utifrån värderingen har en lämplig metod valts för vilken ett antal känslighetsanalyser har genomförts (kapitel 3). Syftet med känslighetsanalyserna har varit att värdera bearbetningsbehoven av höjddata och studera effekter av höjdmodellens upplösning och olika typer av urbana strukturer som byggnader, vägar, viadukter etc. Ytterligare känslighetsanalyser avseende bl.a. ledningsnätets betydelse har gjorts och redovisas också i kapitel 3. För två utvalda städer, Örebro och Älvsbyn, har metodiken tillämpats (kapitel 4) och för Örebro har resultaten från skyfallsberäkningen använts för att kartlägga påverkan på fyra olika samhällssektorer (kapitel 5).

2. Metodval

Vilken beräkningsmetod som väljs beror i stor utsträckning på vad syftet är. I det här fallet ska metoden lämpa sig för att kartlägga vilken samhällsviktig verksamhet som påverkas av ett skyfall. SMHI definierar ett skyfall som minst 50 mm regn på en timme eller minst 1 mm på en minut (SMHI, 2014). Det är med andra ord konsekvenserna av ett mycket kraftigt regn som ska kartläggas. Enligt den senaste regnstatistiken motsvarar detta ett regn med ca 80 års återkomsttid.

2.1 Identifiering av metoder

Nedan beskrivs översiktligt för- och nackdelar med aktuella metoder för kartläggning av översvämningsutbredningen i samband med ett skyfall. Dessa har tidigare redovisats i Hernebring och Mårtensson 2013 och finns även beskrivna i Defra 2010 och Henonin m.fl. 2013. Jämförelse och värdering av metoderna görs i avsnitt 2.2.

GIS-analys av lågpunkter
Med GIS-verktyg är det möjligt att identifiera lågpunkter i terrängen och beräkna utbredning, volym och djup för respektive fördjupning/lågpunkt. Ytterligare analyser kan göras för att beräkna flödesvägar samt respektive lågpunkts tillrinningsområde. En av nackdelarna är att analysen inte säger något om vilka nederbördsmängder som krävs för att lågpunkterna ska fyllas med vatten. Även om flödesvägar kan identifieras kan inte dessa kvantifieras då ingen hänsyn tas till hydrauliken. Det är därmed inte heller möjligt att studera översvämningens tidsförlopp. Vidare tas ingen hänsyn till ledningssystemets kapacitet. Den huvudsakliga fördelen är att analysen är enkel och snabbt ger en överblick över stora geografiska områden.

Tvådimensionell hydraulisk beräkning (2D)
Med en tvådimensionell hydraulisk modell kan flödet på markytan och resulterande vattendjup, flödesvägar och -hastigheter beräknas. Analysen ger en fysikalisk korrekt beskrivning av ytavrinningen och ger en bra beskrivning av förhållandet mellan bidraget från uppströms liggande områden och volymen av lågpunkterna. Däremot tas ingen hänsyn till den aktuella kapaciteten i ledningsnätet.

Kombinerad dagvattenmodell (1D) och modell för nätverk av flödesvägar på markytan (1D)
Endimensionell beskrivning av flödet längs fördefinierade vattenvägar på ytan kopplat till kapacitet och uppfyllnad av ledningsnätet. Vattendjup och hastigheter längs med fördefinierade flödesvägar och magasin kan beräknas. Fördelen med denna metod är att hänsyn tas till ledningsnätets specifika kapacitet. Nackdelarna är att det krävs mycket information för att etablera en 1D-modell för de ytliga flödesvägarna och magasinen. Vidare är det inte praktiskt möjligt att beskriva alla ytliga flödesvägar. Detta är en föråldrad metod som i princip helt ersatts av nedan beskriven metod.

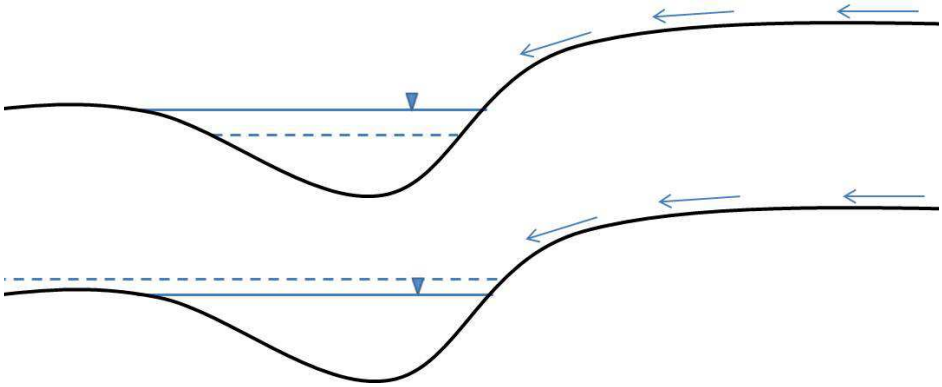
Kombinerad dagvattenmodell (1D) och markavrinningsmodell (2D)
Tvådimensionell analys av hur vattnet rinner på markytan kopplat till kapacitet och uppfyllnad av ledningsnätet. Resultat fås i form av vattendjup, flödesvägar och -hastigheter. Metoden fångar dynamiken i översvämningsförloppet, såväl variationen med hänsyn till nederbördens förlopp såsom dynamiken i ledningsnätets avledningsförmåga. Metoden utgör ”state-of-the-art” vad gäller kartläggning av pluviala översvämningar.

2.2 Värdering av metoder

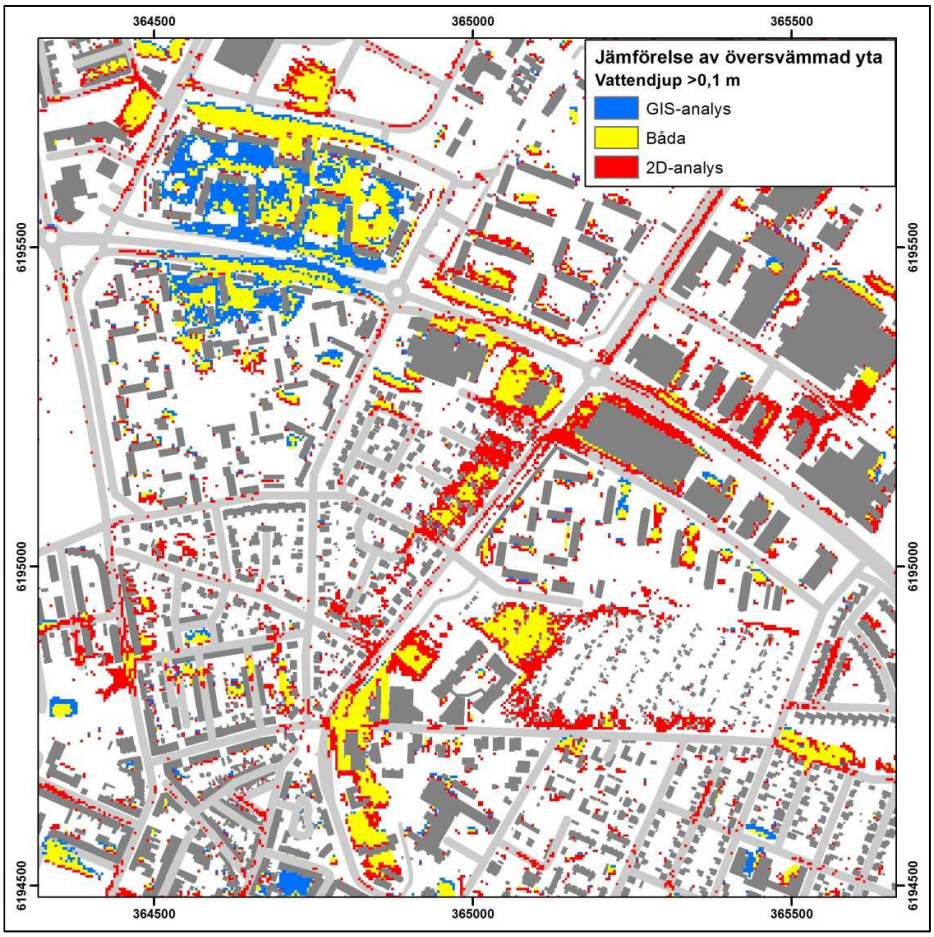
Metoder utan hänsyn till dagvattensystem
GIS- och 2D-analyserna är lika såtillvida att båda enbart tar hänsyn till det som händer på ytan, dvs. båda bortser från ledningssystemets kapacitet. Vidare är ytan oftast impermeabel, dvs. ingen hänsyn tas till markens infiltrationskapacitet. För båda metoderna krävs enbart en höjdmodell som underlag för analysen. Till 2D-analysen tillkommer en bedömning av ytans råhet. Den eventuella bearbetning av höjdmodellen som krävs är lika för båda metoderna. Detta innebär att arbetsinsatsen är likartad för båda analysmetoderna. Själva beräkningstiden är dock väsentligt längre vid en 2D-analys.

Precis som det finns likheter finns det ett antal väsentliga skillnader mellan metoderna. Vid GIS-analysen fylls alla lågpunkter i terrängen med vatten utan hänsyn till den specifika regnvolym som krävs för att fylla upp dessa lågpunkter. Detta innebär att översvämningsdjup och -utbredning riskerar att både överskattas och underskattas, illustrerat i Figur 2-1. I Figur 2-2 jämförs översvämningsutbredningen mellan en GIS-analys och en 2D-analys för ett område i Landskrona. Höjdmodellen är identisk vid båda analyserna. Vid 2D-analysen har höjdmodellen belastats med ett regn med en återkomsttid på 100 år. Inom en del områden (blå) ger GIS-analysen en större utbredning vilket beror på att regnvolymen vid 2D-analysen inte är tillräcklig för att fylla upp lågpunkterna. Motsatsen, där 2D-analysen ger en större utbredning, ses i ett flertal områden (röda). Här ”svämmar” lågpunkterna över och vatten rinner vidare. En konsekvens av att GIS-analysen inte inkluderar någon form av hydraulik är att översvämningens tidsförlopp inte kan studeras. I praktiken inträffar maximala vattendjup vid olika tidpunkter i olika delar av modellområdet. Detta kan aldrig beskrivas med en GIS-analys, däremot med en 2D-analys. Även om flödesvägarna kan kartläggas i GIS kan dessa inte kvantifieras och därmed kan deras betydelse inte värderas vilket är viktigt vid bl.a. åtgärdsplanering. I en 2D-analys kan även hastigheter beräknas vilket kan vara viktigt för att bedöma konsekvenserna (erosionsrisk, skaderisk, etc.) vid extrema regn.

Med bakgrund av ovan finns inte något motiv till att en GIS-analys skulle väljas framför en 2D-analys. Ytterligare fördelar med 2D-analysen är möjligheten att koppla ihop modellen med en hydraulisk 1D-modell för ledningssystemet (se nedan).



Figur 2-1. **Illustration av skillnaden mellan GIS-analys och 2D-analys. Vid en GIS-analys är lågpunkten fylld ända upp (heldragen blå linje) medan tillrinningen i 2D-analysen styr vattendjupet i lågpunkten (streckad blå linje).**



Figur 2-2. **Jämförelse av översvämmad yta (vattendjup > 0,1 m) mellan GIS-analys och beräkning med 2D-modell.**

Metoder med hänsyn till dagvattennät

Två metoder togs upp i avsnitt 2.1 som båda tar hänsyn till ledningssystemets kapacitet och uppfyllnad. Dessa skiljer sig i att flödet på markytan beskrivs med en 1D hydraulisk modell respektive en 2D hydraulisk modell. Det finns i dagsläget inga fördelar med en 1D-beskrivning, denna metod är förlegad och tillkom innan datorkraften var tillräcklig för att beräkna markflödet i två

dimensioner. Idag har metoden huvudsakligen sin tillämpning i realtidssystem där beräkningstiden är en avgörande faktor.

Ledningsnätets betydelse
Den mest korrekta beskrivningen av vattnets strömning på markytan fås med en 2D-modell. Genom att koppla till en hydraulisk 1D-modell för ledningssystemet kan kapacitet och uppfyllnad av dagvattennätet och resulterande marköversvämning beskrivas. Tvåvägskommunikationen mellan modellerna möjliggör en dynamisk beskrivning av översvämningsförloppet, såväl variationen med hänsyn till nederbördens förlopp såsom dynamiken i ledningsnätets avledningsförmåga.

Dagvattensystemets kapacitet varierar till stor del men ska enligt dagens riktlinjer kunna hantera ett regn med en återkomsttid motsvarande 10 år. Oftast är kapaciteten dock lägre än så. Ledningsnätets betydelse minskar således ju mer extrem nederbörden är.

Att bygga upp en hydraulisk modell för dagvattennätet kräver detaljerad information i form av vattengångar och dimensioner för brunnar och ledningar. Denna information finns i de flesta fall tillgänglig hos kommunerna. Beroende på kvalité och huruvida informationen finns i digitalt format varierar tidinsatsen för att etablera en modell. Insatsen hänger även ihop med omfattningen på dagvattensystemet.

Om syftet är att i detalj studera när ledningsnätets kapacitet överskrids och vad det får för konsekvenser för regn med olika intensitet och varaktighet kan inte ledningsnätet bortses ifrån. Detsamma gäller då specifika åtgärder i ledningsnätet ska studeras.

Ett alternativt sätt att ta hänsyn till kapacitet är att göra avdrag från nederbördsvolymen motsvarande dagvattensystemets kapacitet. Dagvattensystemet kan på så sätt förenklas bort och beräkning göras enbart med 2D-modell för flödet på markytan. Belastningen utgörs då av den volym som inte bedöms kunna hanteras av dagvattensystemet. Det finns ett flertal exempel på svenska projekt där denna metodik använts, bl.a. för Landskrona, Kristianstad, Nybro m.fl. Även internationellt har denna metodik nyttjats (Wang m.fl. 2013, Defra 2008, URS 2013). Fördelarna med detta förfarande är, som tidigare nämnts, att stora områden kan kartläggas med en begränsad arbetsinsats. Vidare kan upprättad modell kopplas till en hydraulisk modell för ledningssystemet inom utsatta eller av annan orsak prioriterade områden.

2.3 Rekommenderad metod

Utgående från ovanstående genomgång av metoder och diskussion kring för- och nackdelar är rekommendationen att en ren 2D-analys bör väljas. Denna rekommendation baseras framförallt på följande:

- Metoden ger en snabb överblick över stora geografiska områden med en begränsad arbetsinsats. Tidsinsatsen uppskattas till 1-3 veckor beroende på tätortens storlek och komplexitet avseende urbana strukturer (se kapitel 3).

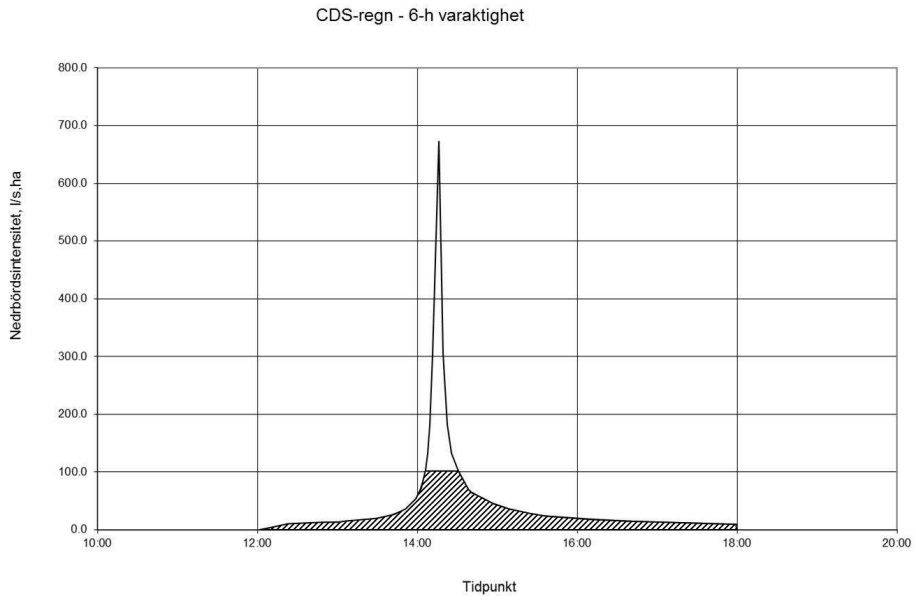
- Metoden kräver en begränsad mängd indata, huvudsakligen en detaljerad höjdmodell och GIS-information för markanvändning. Detta innebär att samtliga kommuner har all nödvändig data för analysen i form av NNH och primärkarta.
- Metoden är lämplig då det är mycket kraftiga regnhändelser, skyfall, som ska studeras. Vid dessa extrema händelser är ledningsnätets kapacitet begränsad i förhållande till regnvolymen.
- Upprättad modell kan kompletteras med koppling till 1D-modell för ledningssystemet vid mer detaljerade studier. Att inkludera ledningsnätet innebär uppskattningsvis den dubbla till tredubbla insatsen mot en ren 2D-analys. Insatsen påverkas främst av tillgängligheten till digital data och om viss data eventuellt saknas i digital form.
- Metoden har använts internationellt, bl.a. i Storbritannien för att ta fram rikstäckande kartor med beräknad översvämningsutbredning och –djup (Defra 2008, Wang m.fl. 2013).

2.3.1 Hänsyn till ledningssystemets kapacitet

Då ledningssystemet inte kopplas till markavrinningsmodellen rekommenderas att hänsyn tas till ledningsnätets kapacitet genom avdrag av nederbördsvolymen, dvs. den del av regnet som antas kunna tas om hand av ledningsnätet dras bort från det studerade regnet.

Metoden illustreras av exemplet i Figur 2-3 där ett 100-årsregn med sex (6) timmars total varaktighet studeras. I exemplet har det antagits att ledningssystemet har en kapacitet motsvarande ett 10-årsregn (dagens riktlinje för dimensionering). Den streckade delen av regnet i Figur 2-3 dras därför bort, motsvarande den del av 100-årsregnet vars intensitet underskrider intensiteten för ett 10-årsregn med 30 minuters varaktighet. I exemplet valdes 30 minuters varaktighet för att det motsvarar typisk rinntid för ett större dagvattensystem, men beroende på områdets storlek kan annat val vara befogat.

I exemplet belastas alltså markavrinningsmodellen med den del av regnet som inte är streckad, i detta fall motsvarande ca 24 mm under 30 minuter (totalt faller ca 45 mm regn under dessa 30 minuter enligt definition av 100-årsregnet, varav ca 21 mm motsvarar ett dimensionerande 10-årsregn under 30 minuter).



Figur 2-3. Nederbördsintensitet för 100-årsregn med sex timmars varaktighet.

Samma princip kan tillämpas på regn med andra återkomsttider och varaktigheter. Vidare kan även avdraget för ledningssystemets kapacitet justeras utifrån lokala bedömningar och differentieras mellan olika geografiska områden med exempelvis kombinerade respektive duplikata system.

Resonemanget ovan avser regnbelastningen för hårdgjorda ytor som antas avledas till ett dagvattensystem inom modellområdet.

I avsnitt 3.2 redovisas jämförelse mellan schablonmässig hantering av dagvattensystemets kapacitet enligt ovan och sammankopplad mer detaljerad beräkning av kapaciteten med 1D hydraulisk beskrivning av dagvattensystemet.

2.3.2 Hänsyn till markens infiltrationskapacitet

Vid 2D-analyser (och kopplade 1D/2D) antas ofta alla ytor vara impermeabla, dvs. markens infiltrationskapacitet bortses ifrån. Detta får till följd att utbredning och vattendjup sannolikt överskattas generellt och framförallt inom permeabla områden.

På motsvarande sätt som hänsyn kan tas till ledningssystemets kapacitet (enligt avsnitt 2.2.1) rekommenderas att ett schablonmässigt avdrag görs från regnvolymen motsvarande markens infiltrationskapacitet. Markens infiltrationskapacitet varierar, förutom med jordens egenskaper, med den rådande hydrologiska situationen. Skyfall inträffar nästan uteslutande under sommarmånaderna juli – augusti då grundvattennivåerna generellt är låga och då det oftast finns magasinskapacitet i den omättade zonen i de översta ytnära jordlagren.

Som ett exempel innebär en infiltrationshastighet på 10^{-5} m/s, vilket är ett rimligt värde för t ex en gräsmatta med ytligt matjordsskikt ovanpå morän, att 18 mm hinner infiltrera under den mest intensiva halvtimmen för regnet

redovisat i Figur 2-3. Detta motsvarar nästan volymen av ett 10-årsregn under samma period.

I programvaran MIKE 21, som används vid 2D-analyser, finns möjlighet att koppla till en infiltrationsmodul som beskriver infiltrationshastighet och magasinsförmåga i det översta jordlagret. I modulen är det möjligt att ha en distribuerad beskrivning av det översta jordlagret beroende på jordartsförhållanden i olika delar av modellområdet.

I känslighetsanalyserna som redovisas i följande kapitel har både metodiken med schablonmässiga avdrag och infiltrationsmodulen tillämpats.

2.3.3 Val av regn

Avseende belastning bör regnet vara av sådan dignitet att det med god marginal överstiger ledningssystemets kapacitet. Detta är en förutsättning för att det skall vara rimligt att förenkla ledningssystemets inverkan till ett schablonmässigt avdrag från regnet och arbeta med en markavrinningsmodell i 2D. Ju närmre det valda regnet ligger i förhållande till ledningssystemets kapacitet, ju större blir osäkerheten i denna förenkling. Rekommendationen är att förenklad 2D-analys bör genomföras med regn som har en återkomsttid på 100 år eller mer.

Med ett 100-årsregn menas ett regn som statistiskt sett återkommer en gång vart 100:e år. Som grund för den regnstatistik som används (Svenskt Vatten, 2011) har man bearbetat regndata som registrerats med hög tidsupplösning (minuter). Statistiken avser vanligen regnvaraktigheter från 5-10 minuter upp till ett dygn. De kortare varaktigheterna är främst av intresse vid urbana avrinningsförlopp, som är snabba, medan längre varaktigheter kan vara mer kritisk för trögare avrinning, ex. hydrologisk påverkan. 100-årsregnets volym är alltså inte entydig, man måste också ange vilken varaktighet som avses.

100-årsregnets volym är ca 110 mm under 24 timmar, eller omkring 55 mm under 1 timme. Man har vid senare bearbetning av korttidsdata för regn från olika platser i Sverige inte funnit att det skulle finnas regionala skillnader i statistiken för sällsynta regnhändelser (med mer än ca 10 års återkomsttid). I Svenskt Vatten P104 finns därför angivet s.k. intensitets-varaktighetssamband som gäller för hela Sverige. Ett fåtal orter har dock egen regnstatistik som baseras på långvariga mätningar inom orten.

3. Känslighetsanalyser

I detta kapitel redovisas känslighetanalyser vilka gjorts i syfte att värdera behoven av bearbetning av höjddata, studera effekten av höjdmodellens upplösning och olika typer av urbana strukturer som byggnader, vägar, viadukter samt ytans råhet. Analyserna har gjorts med vald 2D-metodik beskriven i föregående kapitel. Även jämförande analyser mellan rena 2D-modeller och kopplade 2D/1D-modeller görs (avsnitt 3.2).

3.1 Tvådimensionell markavrinningsmodell

Som diskuterats i föregående kapitel är det nödvändigt att etablera en 2D-modell för flödet på markytan oavsett om modellen ska kopplas till en hydraulisk modell för dagvattensystemet eller ej. Utgående från en befintlig 2D-modell för Landskrona tätort har ett antal känslighetsanalyser gjorts med avseende på numerisk upplösning (3.1.1), ytans råhet (3.1.2) och olika typer av strukturer (3.1.3). Samtliga känslighetsanalyser sammanfattas i Tabell 3-1. Förutom nämnda känslighetsanalyser diskuteras och exemplifieras vattendrags inverkan på resultaten (3.1.4).

Ett generellt problem vid kartläggning av extrema regn är att det mycket sällan finns några mätningar eller observationer av vattendjup att verifiera resultaten mot. Det är med andra ord svårt att säga att en parameterinställning är bättre än en annan, utan får snarare bedömas med hänsyn till rimlighet och sunt förnuft.

Utvärdering av de olika känslighetsfallen har främst genomförts med avseende på översvämningsutbredning för olika vattendjup och vid olika tidpunkter; vid maximalt vattendjup och 1 h efter regnets topp (se avsnitt 2.3 och Figur 2-3). Det är viktigt att påpeka att det maximala vattendjupet inträffar vid olika tidpunkter i olika områden. Resultaten som redovisas efter 1 h är en ögonblicksbild.

Ett känslighetsfall kan ge både större och mindre utbredning i olika delar av området. Därför utvärderas både den relativa och absoluta skillnaden vid maximalt vattendjup. Den relativa skillnaden definieras som den procentuella skillnaden i total översvämmad yta för känslighetsfallet jämfört med referensfallet. Skillnaden kan vara både positiv och negativ samt i teorin även noll om områden med större respektive mindre utbredning är lika stora. Genom att utvärdera ytan av dessa områden och relatera till den totala översvämmade ytan fås ett mått på den absoluta skillnaden vilken alltid, per definition, är positiv.

Tabell 3-1. Sammanställning av känsligshetsfall L-1 – L-8 för Landskrona, med ändringar jämfört med referensfall L-0.

Fall	Upplösning (m)	Råhet (Manning M)	Byggnader	Viadukter	Vägar
Landskrona					
L-0	4 m	10	Upphöjda	Enligt DEM	Enligt DEM
L-1	8 m				
L-2	2 m				
L-3		2			
L-4		50			
L-5		2/50			
L-6			Ej upphöjda		
L-7				Justerade	
L-8					Nedsänkta

3.1.1 Numerisk upplösning

En förutsättning för att resultaten från kartläggningen ska vara användbara är att terrängmodellen är tillräckligt detaljerad. Tidigare studier (Prodanovic m.fl. 1998; Mark m.fl. 2004) rekommenderar en upplösning på 1-5 m för att kunna beskriva urbana strukturer som vägar och hus på ett tillfredsställande sätt. Med en grövre upplösning tenderar översvämningsutbredningen att ”smetas ut” och resultera i mindre vattendjup (Adullah m.fl. 2012; Vojinovic m.fl. 2011).

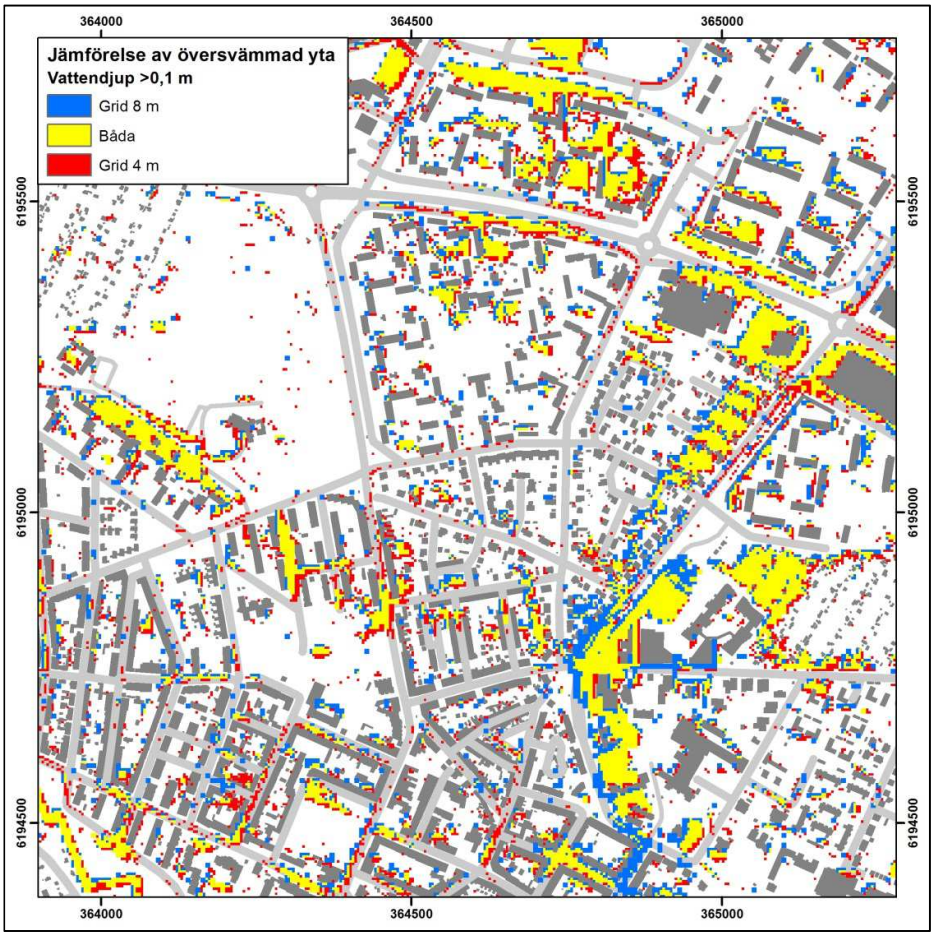
I Tabell 3-2 och Figur 3-1 – Figur 3-2 jämförs beräkningar med en numerisk upplösning på 8 m (L-1) respektive 2 m (L-2) med referensfallet (L-0) som har 4 m upplösning. Både med en grövre och finare upplösning är den relativa skillnaden förhållandevis liten, däremot är den absoluta skillnaden stor (Tabell 3-2). Större översvämmade lågpunkter växer i utbredning samtidigt som mindre svackor försvinner med en grövre upplösning (Figur 3-1 och Figur 3-2). Den lilla relativa skillnaden visar att dessa förändringar i utbredning i det närmaste tar ut varandra. Således kan den ovan beskrivna ”utsmetande” effekten bekräftas, dock är i det här specifika fallet effekten av att mindre svackor försvinner lika stor.

Tabell 3-2. Relativ och absolut (Abs) skillnad i utbredning av områden med vattendjup över 0,1 och 0,3 m jämfört med referensfall (L-0) vid maximalt vattendjup och efter 1 h.

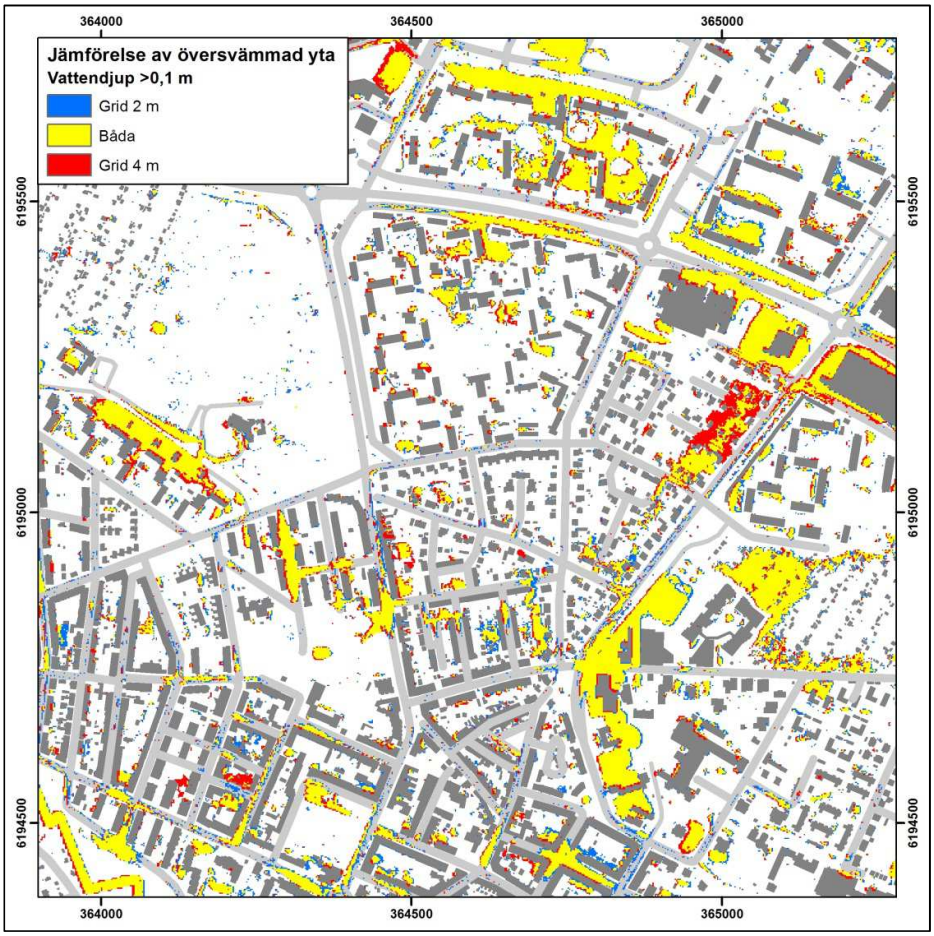
Fall	Vid maximalt vattendjup			Efter 1 h	
	≥0,1 m	≥0,3 m	≥0,1 m (Abs)	≥0,1 m	≥0,3 m
L-1	1 %	8 %	63 %	2 %	2 %
L-2	-4 %	-9 %	42 %	-3 %	-4 %

L-1: numerisk upplösning 8 m

L-2: numerisk upplösning 2m



Figur 3-1. Jämförelse av översvämmad yta (vattendjup > 0,1 m) mellan beräkning med 4 respektive 8 m upplösning.



Figur 3-2. Jämförelse av översvämmad yta (vattendjup > 0,1 m) mellan beräkning med 4 respektive 2 m upplösning.

Tillgängligheten på detaljerad höjddata är naturligtvis en faktor som styr valet av numerisk upplösning. En rikstäckande laserskannad höjddatabas finns i form av den detaljerade GSD-höjddata grid 2+ som är tillgänglig för stora delar av Sverige. Den horisontella upplösningen är 2x2 m och noggrannheten på plana hårdgjorda ytor i höjdmodellen är normalt bättre än 0.1 meter (Lantmäteriet, 2011). Flertalet kommuner flygskannar centralorten regelbundet, ofta med en upplösning som är bättre än GSD-höjddata grid 2+. Det är inte ovanligt att höjddata med en horisontell upplösning på 1x1 m eller bättre finns tillgängligt för större tätorter.

Valet av numerisk upplösning påverkas även av storleken på området som ska kartläggas. Baserat på känslighetsanalyserna innebär en ökning av upplösningen med en faktor två ca en faktor 10 längre beräkningstid. Med en upplösning på 2 m kan en beräkning för en tätort av Landskronas storlek ta en vecka eller mer beroende på datorns prestanda. Ett alternativ är att dela upp området i flera delavrinningsområden för att korta ner beräkningstiderna.

3.1.2 Ytans råhet

Markytans råhet, beskrivet med Mannings tal, styr hur stort flödesmotståndet är och påverkar såväl flödeshastigheter som översvämningsutbredning. Inom

tätorter varierar ytans råhet mellan olika typer av markanvändning, från gröna ytor med stort motstånd till hårdgjorda ytor med lågt motstånd.

I Tabell 3-3 och Figur 3-3 – Figur 3-4 jämförs beräkningar med ett Mannings tal på 2 (L-3) respektive 50 (L-4) med referensfallet (L-0) med Mannings tal 10. Alla ytor har getts samma råhet i syfte att utreda den generella känsligheten för ändringar i råheten. Ett Mannings tal på 2 är ett representativt värde för en bevuxen markyta medan Manning 50 är representativt för en hårdgjord yta.

Resultaten visar att med en högre råhet blir översvämningsytan mer konkav, dvs. vattnet tar sig inte lika enkelt/snabbt till den djupaste delen av en lågpunkt, vilket resulterar i en större utbredning men mindre vattendjup. I fall L-4 (Manning 50) blir utbredningen med vattendjup >0,1 m 11 % mindre och 3 % större för områden med vattendjup >0,3 m jämfört med referensfallet (Manning 10). Motsatta effekten med större utbredning och mindre vattendjup ses i fall L-3 (Manning 2).

Skillnaderna är större om utbredningen efter 1 h studeras istället för vid maximala vattendjup (Tabell 3-3). Detta är förväntat då råheten påverkar flödeshastigheten och därmed har vattnet transporterats olika långt vid en specifik tidpunkt i de olika känslighetsfallen.

I känslighetsfall L-5 har råheten differentierats mellan hårdgjorda (Manning 50) och övriga ytor (Manning 2). Som en följd av att andelen icke hårdgjorda ytor motsvarar ca 80 % av den totala ytan så ligger resultaten närmare resultaten i fall L-3 än L-4 (Tabell 3-3). Alla vägar och hus(tak) har ansatts som hårdgjorda. I verkligheten finns en större mängd hårdgjorda ytor som parkeringsplatser, industrimark etc. Denna information finns sällan tillgänglig i digitalt format med tillräckligt bra upplösning. Utifrån ett ortofoto är det möjligt att kartlägga dessa områden vilket dock kan vara tidsödande.

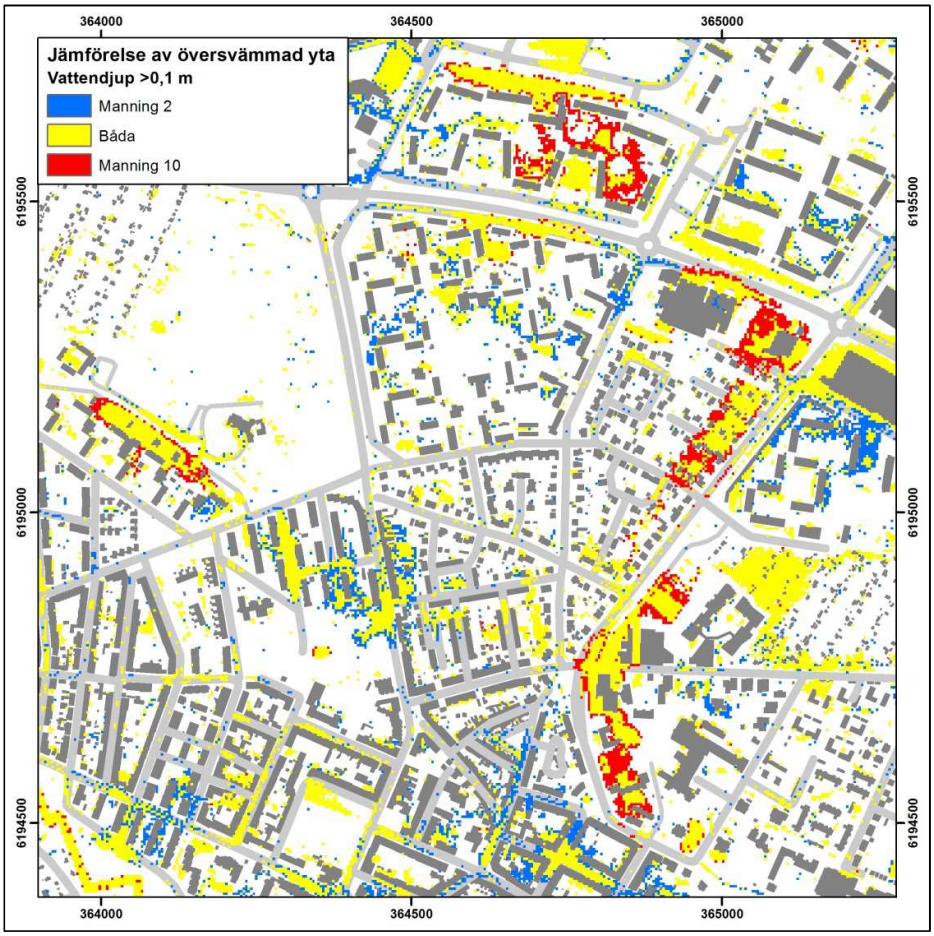
Tabell 3-3. Relativ och absolut (Abs) skillnad i utbredning av områden med vattendjup över 0,1 och 0,3 m jämfört med referensfall (L-0) vid maximalt vattendjup och efter 1 h.

Fall	Vid maximalt vattendjup			Efter 1 h	
	≥0,1 m	≥0,3 m	≥0,1 m (Abs)	≥0,1 m	≥0,3 m
L-3	13 %	-8 %	27 %	-15 %	-53 %
L-4	-11 %	3 %	20 %	-2 %	37 %
L-5	-3 %	-16 %	24 %	-12 %	-41 %

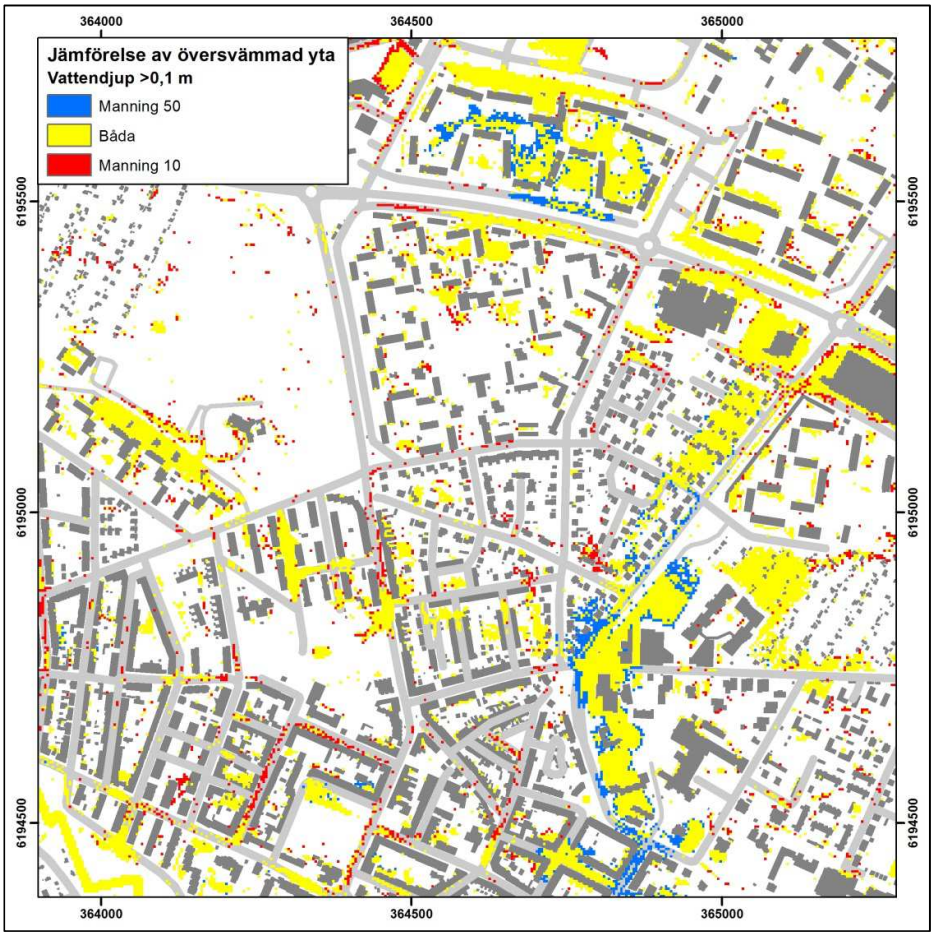
L-3: Mannings tal 2

L-4: Mannings tal 50

L-5: Mannings tal 2/50 (icke hårdgjorda ytor/hårdgjorda ytor)



Figur 3-3. Jämförelse av översvämmad yta (vattendjup > 0,1 m) mellan beräkning med ett Mannings tal på 2 respektive 10.



Figur 3-4. Jämförelse av översvämmad yta (vattendjup > 0,1 m) mellan beräkning med ett Mannings tal på 50 respektive 10.

3.1.3 Strukturer

Vid framtagande av en höjdmodell filtreras alla laserpunkter som inte är markpunkter bort. Bortfiltrerade punkter utgör exempelvis andra objekt som byggnader och vegetation. Utifrån de återstående markpunkterna skapas en sammanhängande höjdmodell, DEM. Ett problem är broar då dessa oftast klassas som mark och därmed kommer att blockera flödet. I NNH som levereras av Lantmäteriet är broar klassade som mark och därmed inkluderade i höjdmodellen.

För att beskriva de verkliga vattentransportförhållandena bör höjdmodellen justeras genom att höja upp alla byggnader. I känslighetsfall L-6 har byggnader inte höjts upp. Detta resulterar i en mindre översvämningsutbredning jämfört med referensfallet till följd av att vatten kan transporteras över byggnader och ”fastna” i lågpunkter på områden som inte höjts upp.

I fall L-7 har nivån för alla broar (viadukter) justerats för att beskriva marknivån istället för bronivån. Detta har gjorts genom att interpolera mellan marknivåerna på respektive sida om bron. Skillnaden jämfört med referensfallet är mycket liten. Detta beror på att broar (viadukterna) utgör lågpunkter och är således slutstation för vattnet, dvs. vatten transporteras inte under bron och vidare utan stannar i viadukten. Undantaget är när bron är

över ett dike/vattendrag. Hantering av vattendrag diskuteras vidare i avsnitt 3.1.4. Den absoluta skillnaden i utbredning är något större då vattenvolymen på båda sidor om bron omfördelas när nivån justeras till att motsvara marknivån i viadukten (Figur 3-5).

Andra strukturer som utgör vattenhinder/barriärer i höjdmodellen är vägtrummor och kulverterade sträckor av diken och vattendrag. En väsentlig skillnad med dessa strukturer jämfört med broar är att de har en begränsad kapacitet. Genom att inte ta hänsyn till trummor och kulverteringar riskerar dämningen som de orsakar att överskattas. Om höjdmodellen istället bränns ner, dvs. göra ett hål i höjdmodellen genom att sänka nivåerna, riskerar den motsatta effekten att uppstå, dvs. att deras kapacitet överskattas och således underskattas deras dämmande effekt. Vid detaljerade studier behöver information om kapaciteten inhämtas (om den finns tillgänglig) och strukturerna beskrivas detaljerat i 2D-modellen.

Trottoarkanter är något som inte fångas upp i modellen till följda av den numeriska upplösningen. Genom att sänka gatuytor kan effekten av trottoarkanter fås med. I känslighetsfall L-8 har alla gatuytor sänkts med 0,1 m. Jämfört med referensfallet blir översvämningsutbredningen mindre inom bebyggelse då mer vatten stannar kvar på vägarna (Figur 3-6). Dessa förändringar tar ut varandra och resulterar i en liten relativ skillnad medan den absoluta skillnaden är 14 % (Tabell 3-4).

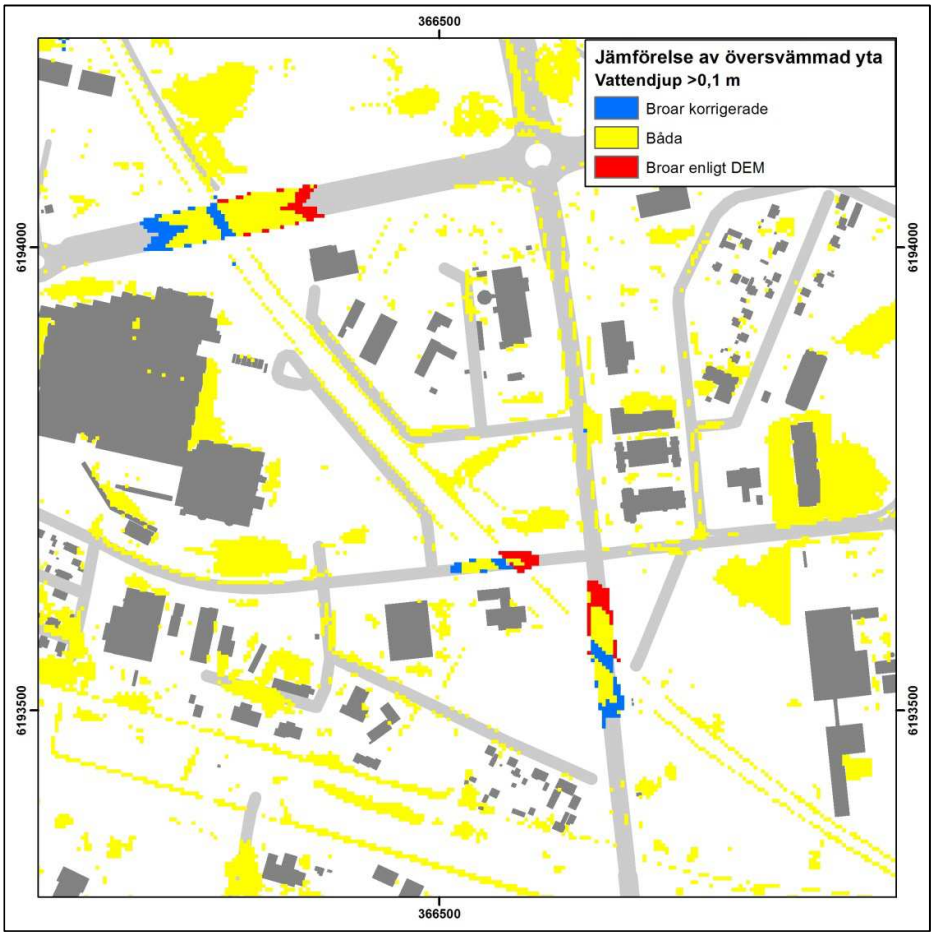
Tabell 3-4 Relativ och absolut (Abs) skillnad i utbredning av områden med vattendjup över 0,1 och 0,3 m jämfört med referensfall (L-0) vid maximalt vattendjup och efter 1 h.

Fall	Vid maximalt vattendjup			Efter 1 h	
	≥0,1 m	≥0,3 m	≥0,1 m (Abs)	≥0,1 m	≥0,3 m
L-6	-15 %	-18 %	18 %	-7 %	-3 %
L-7	0 %	-1 %	1 %	0 %	0 %
L-8	1 %	1 %	14 %	1 %	1 %

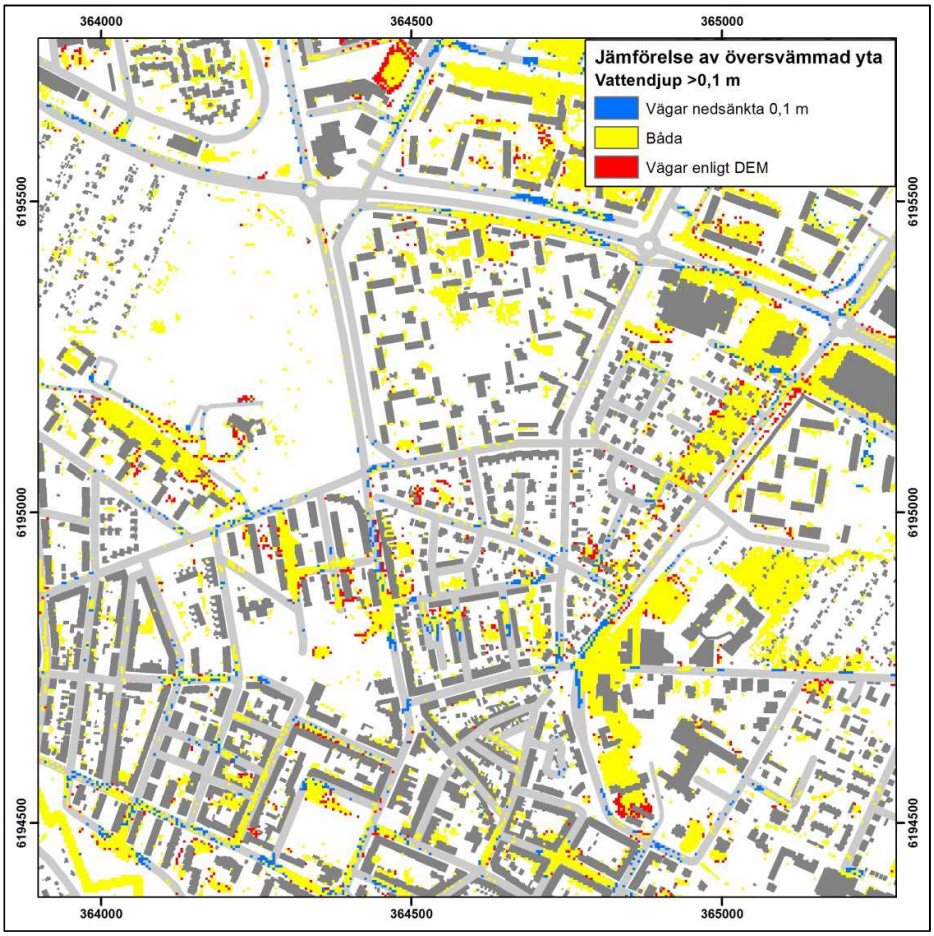
L-6: byggnader ej upphöjda

L-7: viadukter justerade

L-8: vägar nedsänkta



Figur 3-5 **Jämförelse av översvämmad yta (vattendjup > 0,1 m) mellan beräkning med nivån för broar korrigerad till marknivån i viadukten eller enligt DEM.**



Figur 3-6. Jämförelse av översvämmad yta (vattendjup > 0,1 m) mellan beräkning med vägar nedsänkta 0,1 m eller enligt DEM.

3.1.4 Vattendrag

Om höjdmodellen inte bearbetas beskrivs ett vattendrag som övriga markytor, dvs. regnvatten transporteras på vattenytan enligt nivåerna i höjdmodellen (vattenytans nivå i höjdmodellen beror på när skanningen utfördes). Den totala regnvolymen vid ett skyfall är oftast inte tillräcklig för att nivån i större vattendrag ska nå upp till nivåer som orsakar en översvämning från vattendraget. För medelstora och mindre vattendrag kan däremot detta inträffa.

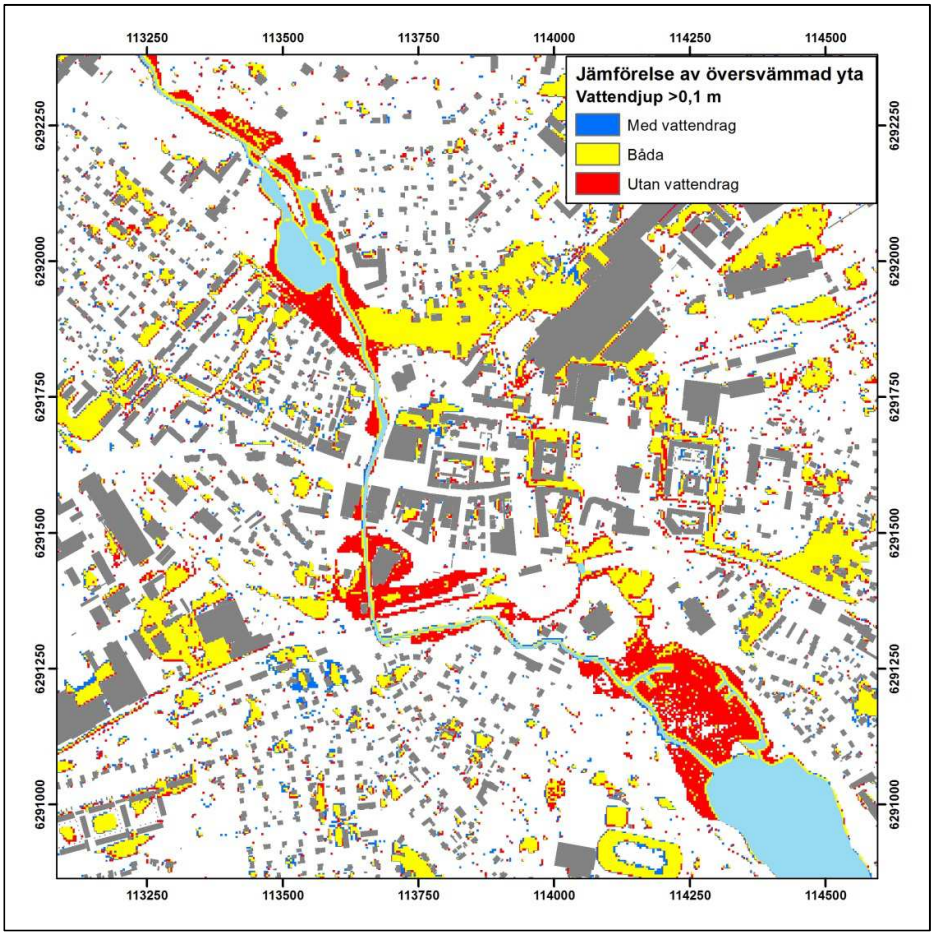
Ett exempel från Nybro ges i Figur 3-7 där en beräkning med ojusterad DEM jämförts med beräkning där vattendraget bränts ner (dvs. vattendragets botten har lagts in i höjdmodellen). Här uppstår väsentliga skillnader med en större utbredning då nivån för vattendraget inte justerats. Att skillnaderna blir så stora beror på den flacka terrängen samtidigt som att avrinningen sker till vattendraget. Det bör påpekas att beräkningarna i övrigt inte är helt identiska varför det uppstår en del skillnader som inte är relaterade till huruvida vattendraget är nedbränt eller ej.

Genom att bränna ner vattendraget startas beräkningen med en tom åfåra vilket kanske inte är korrekt och kan få till följd att kapaciteten överskattas. Om nivåer i ursprunglig höjddata används blir det mer godtyckligt och beroende av

flödessituationen då skanningen gjordes. Det kan därför vara svårt att direkt avgöra vilket av fallen som är mest representativt. Egentligen motsvarar de två olika flödessituationer i vattendraget.

Ett alternativ är att bränna ner vattendraget och belasta detta med ett förbestämt inflöde (eller olika alternativa). Ibland kan det dock vara svårt att bedöma hur mycket man ska bränna ner vattendraget samt att rasterupplösningen kan vara begränsande vid smala vattendrag. I de fall då vattendragets kapacitetsbeskrivning bedöms vara betydelsefull kan det därför vara motiverat att komplettera markavrinningsmodellen med en 1D hydraulisk vattendragsmodell. Detta innebär dock en större arbetsinsats och i de flesta fall torde en ojusterad DEM (med avseende på vattendrag) vara tillfyllest vid översiktliga studier.

Med anledning av diskussionen ovan om beskrivning av vattendragens kapacitet är det dock avgörande att justera marknivåerna vid broar och andra strukturer som korsar ett vattendrag. Annars riskerar dessa att ge uppströms dämning som inte är verklighetstrogen.



Figur 3-7 **Jämförelse av översvämmad yta (vattendjup > 0,1 m) mellan beräkning med vattendraget nerbränt eller enligt DEM.**

3.2 Ledningsnätets kapacitet

I avsnitt 2 konstaterades att den mest korrekta beskrivningen av översvämningsförloppet fås om 2D-modellen för flödet på markytan dynamiskt kopplas till en 1D hydraulisk modell för dagvattensystemet. På så sätt fångas såväl variationen med hänsyn till nederbördens förlopp som dynamiken i ledningsnätets avledningsförmåga. En alternativ metod är att anta rörledningssystemets kapacitet och belasta markavrinningsmodellen med volymskillnaden mellan regnet och kapaciteten, dvs. den mängd som inte bedöms kunna hanteras av dagvattensystemet.

Befintliga kopplade 1D/2D-modeller för Höganäs och Götene har nyttjats för att testa hur stora skillnader som uppstår till följd av ett schablonmässigt antagande av ledningssystemets kapacitet (Tabell 3-5). Beräkningar har gjorts både med den kopplade modellen och med enbart 2D-modellen med en belastning motsvarande ett 100-årsregn. För både Höganäs och Götene har ledningssystemets kapacitet antagits motsvara volymen av ett 10-årsregn i den rena 2D-modellen. Detta antagande baseras på att enligt gällande riktlinjer ska ledningsnätet vara dimensionerat för att kunna hantera ett regn med 10 års återkomsttid.

Motsvarande beräkningar har även gjorts för Kristianstad med skillnaden att enbart större diken beskrivits i den hydrauliska 1D-modellen.

Tabell 3-5. Sammanställning av känsligshetsfall för 2D/1D och 2D-modeller för Höganäs, Götene och Landskrona.

Fall	Ledningsnät	Kapacitet ledningsnät
Höganäs		
H-0	Ja	Enligt 1D-modell
H-1	Nej	10-årsregn
Götene		
G-0	Ja	Enligt 1D-modell
G-1	Nej	10-årsregn
Kristianstad		
K-0	Större diken	10-årsregn
K-1	Nej	10-årsregn

För både Höganäs (H-1) och Götene (G-1) ger den rena 2D-modellen en större översvämningsutbredning (Tabell 3-6). Skillnaderna är dock betydligt mindre för Götene än för Höganäs. Jämförelserna i Tabell 3-6 har gjorts för dagvattensystemets tillrinningsområde. I områden utanför detta område är resultaten identiska vilket innebär att skillnaden för hela det modellerade området är mindre än redovisade procenttal.

Resultaten visar att ledningssystemets generella kapacitet överskrider den antagna kapaciteten motsvarande ett 10-årsregn. För både Höganäs och Götene förekommer dock ett flertal områden där den kopplade 1D/2D-modellen ger en större utbredning och där således kapaciteten underskrider ett 10-årsregn (Figur 3-8). Detta visar också jämförelsen av den absoluta skillnaden i översvämningsutbredning (Tabell 3-6).

Höganäs dagvattensystem håller en förhållandevis god kapacitet vilket även resultaten visar. Rörsystemet i Götene är på många ställen underdimensionerat (2-5-årsregn enligt bedömning). Trots detta ger en ren 2D-modell, med en antagen kapacitet motsvarande ett 10-årsregn, en större översvämningsutbredning än den kopplade 1D/2D-modellen. Detta kan delvis förklaras av att kapaciteten varierar mellan olika delar av systemet och att man ofta hänvisar till de svagare delarna vid kapacitetsbedömningar. Med ett schablonmässigt antagande, som är detsamma för hela systemet, är det naturligt att kapaciteten i vissa delar av systemet överskattas och att det underskattas i andra. När vatten, via brunnar, tränger upp på markytan fungerar detta som en ventil för systemet. Trycket sjunker och kapacitet frigörs.

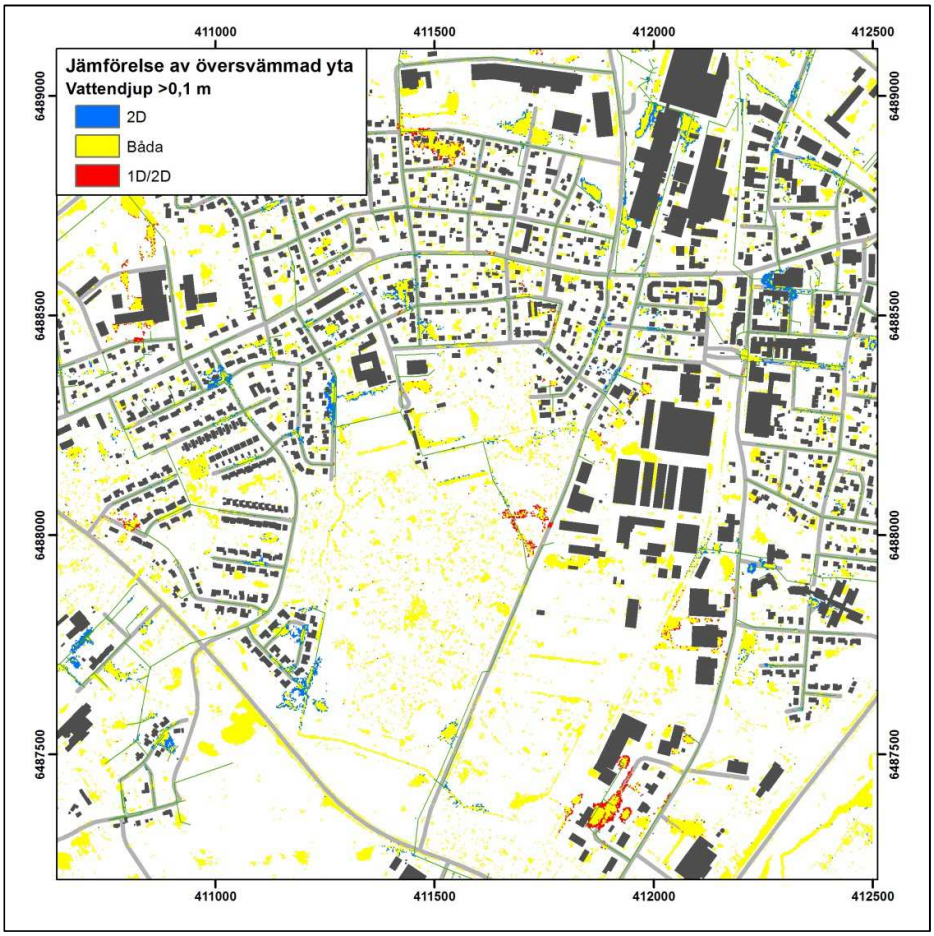
Tabell 3-6. Relativ och absolut (Abs) skillnad i utbredning av områden med vattendjup över 0,1 och 0,3 m jämfört med referensfall (H-0, G-0 och K-0) vid maximalt vattendjup och efter 1 h.

Fall	Vid maximalt vattendjup			Efter 1 h	
	≥0,1 m	≥0,3 m	≥0,1 m (Abs)	≥0,1 m	≥0,3 m
H-1	24 %	55 %	27 %	23 %	25 %
G-1	9 %	16 %	13 %	10 %	12 %
K-1	-2 %	-5 %	3 %	-2 %	-3 %

H-1: utan ledningsnät

G-1: utan ledningsnät

K-1: utan större diken



Figur 3-8. Jämförelse av översvämmad yta (vattendjup >0,1 m) mellan beräkning med 2D-modell och kopplad 1D/2D-modell.

3.3 Sammanfattning och rekommendationer

I detta avsnitt sammanfattas i punktform resultaten från genomförda känslighetsanalyser och de slutsatser som kan dras. Slutsatser har dragits utifrån förutsättningen att metodiken ska tillämpas som ett första översiktligt steg för att kartlägga påverkan från skyfall på samhällsviktig verksamhet. Metodiken avses m.a.o. inte att användas för att genomföra detaljerade studier på kvartersnivå.

- Den numeriska upplösningen bör inte överstiga 4 m för att kunna beskriva urbana strukturer. Rekommendationen är att använda en så bra upplösning som är praktiskt möjligt ur ett data- och modelleringsperspektiv. Med detta menas att den numeriska upplösningen aldrig kan vara bättre än upplösningen på laserskannad höjddata samt att beräkningstiden kan vara en faktor som begränsar upplösningen. För större områden med en mycket fin upplösning (<2 m) kan beräkningstiderna bli ohållbart långa med normal datorkapacitet (veckor). En möjlighet är att dela upp staden i flera mindre delområden, vilket kan vara tvunget även med en grövre upplösning (4 m) om stora städer ska kartläggas. Detta innebär en extra arbetsinsats.

- Ändringar av ytans råhet (Mannings tal) har stor påverkan på resultaten. Det förespråkas därför att råheten differentieras mellan olika ytor, åtminstone mellan hårdgjorda och övriga ytor. En mer detaljerad analys av olika ytors råhet kan vara motiverat men får vägas mot tidsinsatsen för denna kartläggning/analys.
- Hänsyn till byggnader bör tas genom att höja upp ursprunglig DEM för att beskriva de verkliga vattentransportförhållandena runt husen. Översvämningsutbredning och vattendjup kommer annars att underskattas.
- Att inkludera vägar, eller snarare trottoarkanter, genom att sänka nivån på vägbanorna ger en förhållandevis liten effekt på resultaten. Det kan ifrågasättas hur korrekt denna generella justering är då långt ifrån alla vägar omges av trottoarkanter. Det innebär en betydande arbetsinsats och kräver detaljerad information om alla vägar med trottoarkant ska kartläggas och särskiljas från övriga. Denna insats kan vara motiverad vid mer detaljerade studier men inte då hela städer ska kartläggas.
- För broar som inte är bortredigerade i höjdmodellen bör nivåer korrigeras så att de anger marknivån under bron. I en del höjdmodeller görs detta innan leverans till användaren, dock inte i NNH data från Lantmäteriet. Vad gäller vägtrummor och kulverterade sträckor av diken och mindre vattendrag är det inte lika självklart att dessa ska inkluderas i en översiktlig studie. Det som talar emot är att om de ska inkluderas på ett helt korrekt sätt bör dimensionerna på strukturen beskrivas och läggas in i modellen. En förenklad beskrivning kan göras genom att bränna ner höjdmodellen. Detta riskerar dock att ge minst lika stora fel genom att kapaciteten överskattas istället för att underskattas. Om schablonmässiga avdrag för såväl ledningsnätets kapacitet som markens filtrationsförmåga görs tas indirekt hänsyn till vägtrummans/kulvertens kapacitet motsvarande avdraget.
- Det rekommenderas att ursprungliga nivåer i höjdmodellen används för att beskriva nivån i vattendrag. Genom att bränna ner vattendraget kommer kapaciteten i de flesta fall att överskattas. Man bör dock vara observant på om analysen resulterar i en översvämning från vattendraget. Det kan då vara motiverat att se över ansatta nivåer och eventuellt justera dessa, alternativt bränna ner och ansätta ett flöde i vattendraget eller koppla samman markavrinningsmodellen med en 1D hydraulisk modell för vattendraget.
- Markens infiltrationskapacitet bör tas hänsyn till för att inte överskatta översvämningens utbredning och djup. Det rekommenderas att detta görs schablonmässigt med en konservativ bedömning av infiltrationshastigheten alternativt att eventuella infiltrationsmoduler i programvaran tillämpas.
- Genom ett schablonmässigt antagande av ledningssystemets kapacitet kommer utbredning och djup både att under- och överskattas jämfört med en kopplad 2D/1D-modell. Hur stora skillnaderna blir är naturligtvis avhängigt av hur väl det schablonmässiga avdraget

stämmer överens med ledningsnätets kapacitet. Skillnaderna bedöms dock inte vara så stora att de förändrar rekommendationen att inte inkludera ledningssystemet vid en första översiktlig kartläggning. Vid analys av mer moderata regn, eller vid exempelvis kostnads-/nyttoanalyser, krävs en hydraulisk ledningsnätsmodell som kopplas till markavrinningsmodellen.

4. Tillämpning av metodik

Utgående från tidigare metodval och slutsatserna från känslighetsanalyserna i föregående avsnitt har skyfallsberäkningar för Älvsbyn och Örebro genomförts. I avsnitt 4.1 sammanfattas metodiken som tillämpats för att beräkna översvämningsutbredning i samband med ett skyfall över de båda tätorterna. I avsnitt 4.2 (Älvsbyn) och 4.3 (Örebro) visas översiktliga resultat. Detaljerade resultatkartor visas i Bilaga 1 (Älvsbyn) och Bilaga 2 (Örebro).

4.1 Modellbeskrivning

Utifrån Nya nationella höjdmodellen (NNH) har en tvådimensionell hydraulisk modell etablerats i programvaran MIKE 21 (DHI, 2012) för respektive modellområde; knappa 5 000 ha för Älvsbyn och 8 000 ha för Örebro. En numerisk upplösning på 4 m har valts för båda. Följande justeringar av höjdmodellerna har gjorts:

- Samtliga byggnader har höjts upp med 2 m jämfört med ursprunglig DEM.
- Nivån för alla broar har justerats för att motsvara marknivån under bron.

Ytans råhet har differentierats mellan hårdgjorda och övriga ytor. Vägar och hus(tak) har ansatts som hårdgjorda med ett Mannings tal på 50 och övriga ytor har getts ett Mannings tal på 2.

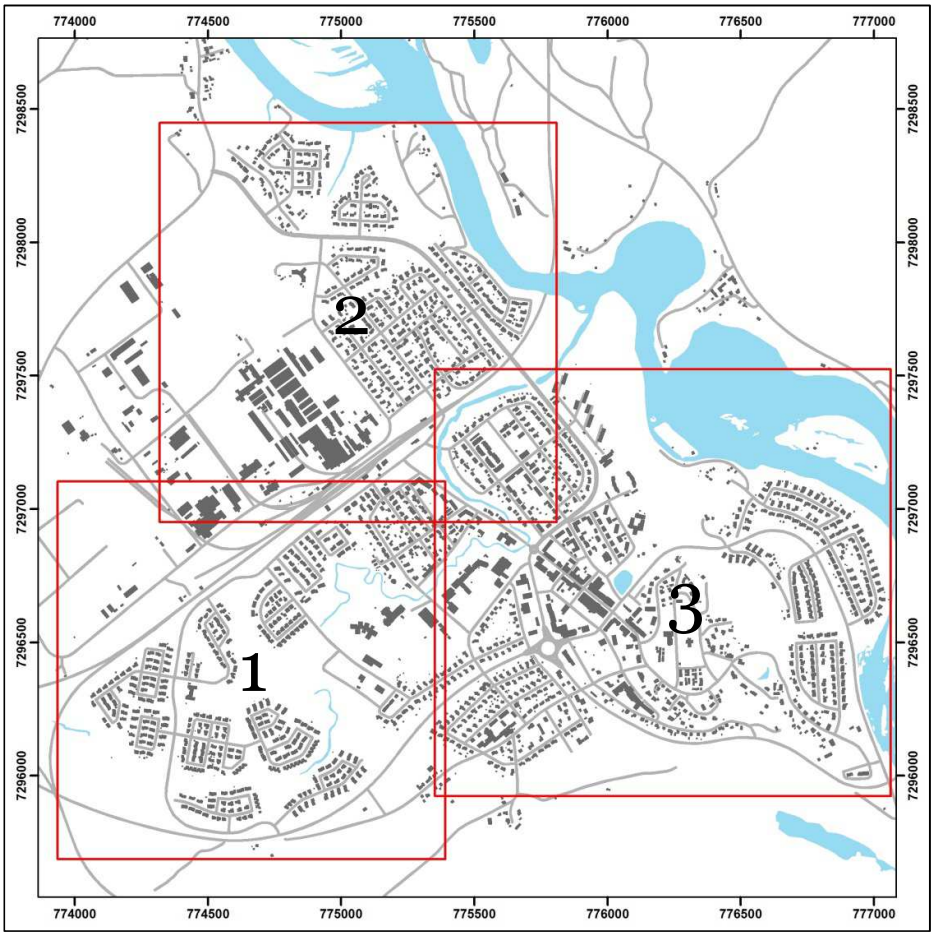
Modellerna har belastats enligt beskrivning i avsnitt 2.3.1 med ett dimensionerande 100-årsregn med en varaktighet på 6 timmar. Ledningssystemen antas schablonmässigt ha en kapacitet motsvarande ett 10-årsregn. Volymen av 100-årsregnet har således reducerats motsvarande volymen av 10-årsregnet. Denna reduktion har gjorts på alla hårdgjorda ytor vilka antas vara kopplade till dagvattensystemet.

Hänsyn har tagits till markens infiltrationsförmåga enligt beskrivning i avsnitt 2.3.2. Infiltrationskapaciteten har ansatts till 10^{-5} m/s för alla icke hårdgjorda ytor och alla hårdgjorda ytor antas vara impermeabla.

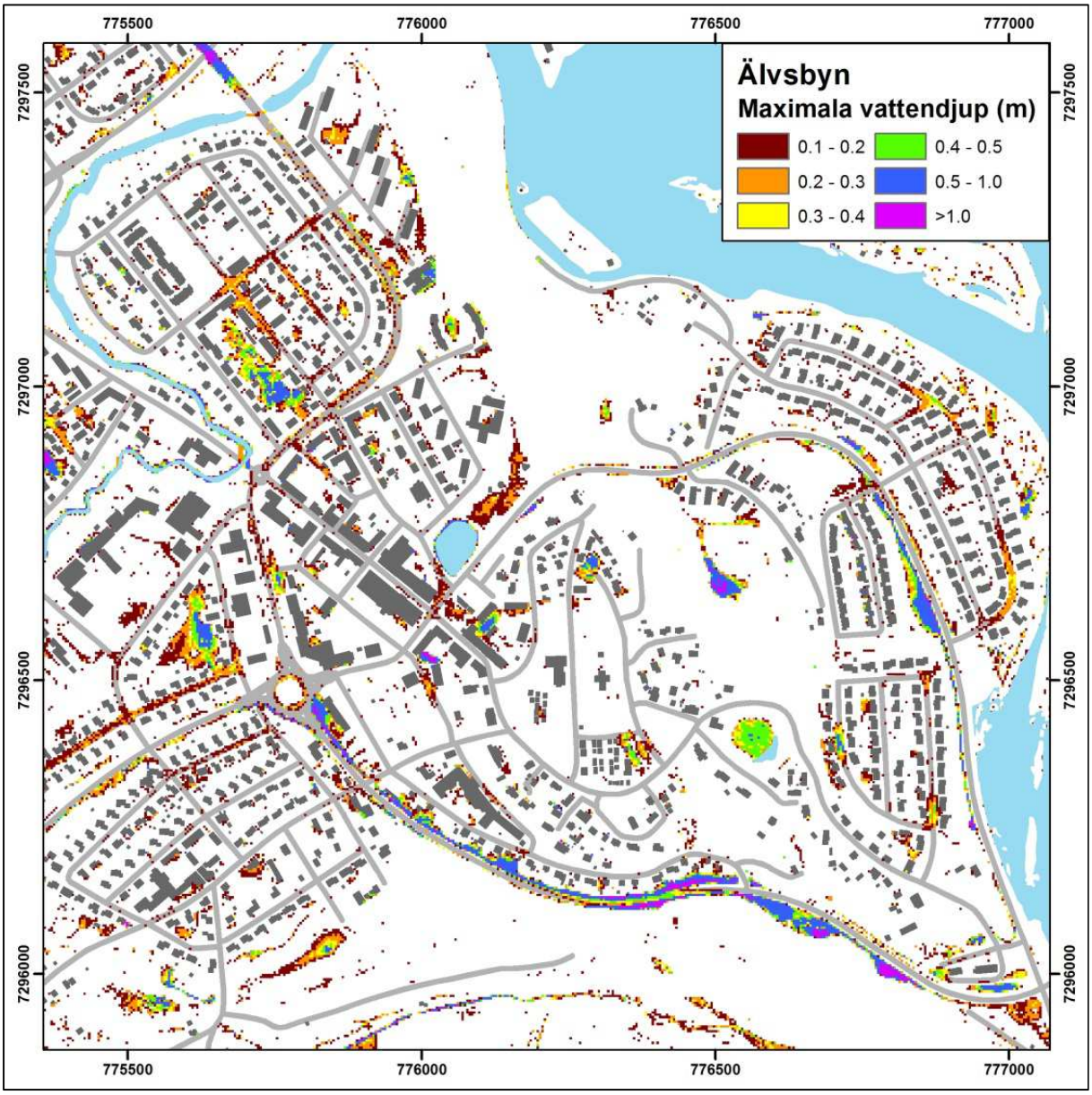
Konsekvensen av de schablonmässiga avdragen för dagvattensystemets kapacitet och markens infiltrationsförmåga är att den återstående volymen som belastar markytan blir ca 23 mm under den mest intensiva 30-minutersperioden.

4.2 Resultat – Älvsbyn

I Figur 4-1 visas en översiktsbild över Älvsbyn med rödmarkerade områden för vilka detaljbilder över beräknad översvämningsutbredning och maximala vattendjup tagits fram. Ett exempel för område nummer 3 ges i Figur 4-2. Samtliga detaljbilder (1-3) redovisas i Bilaga 1.



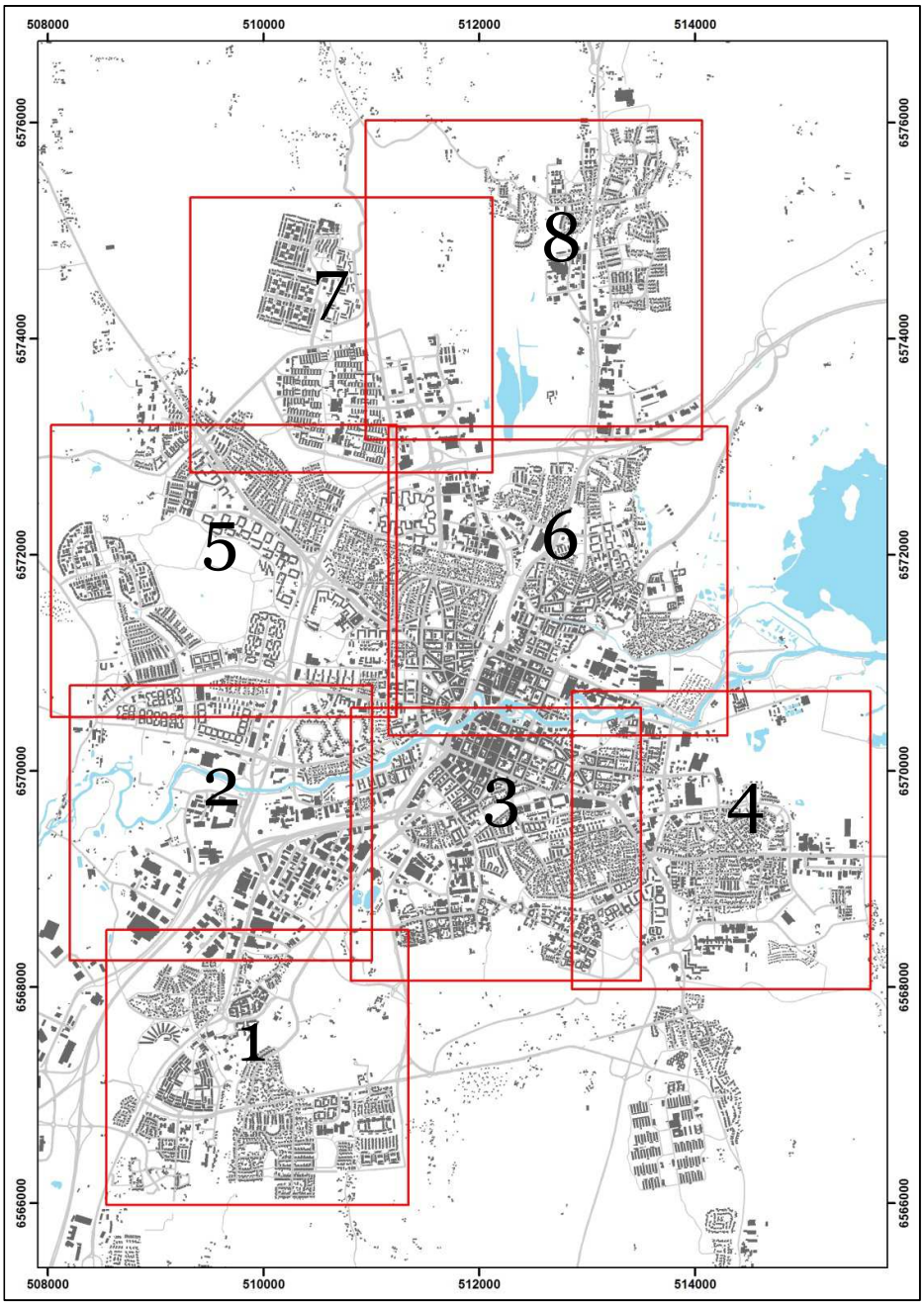
Figur 4-1. Översiktsbild över Älvsbyn med numrerade områden för detaljbilder redovisade i Bilaga 1.



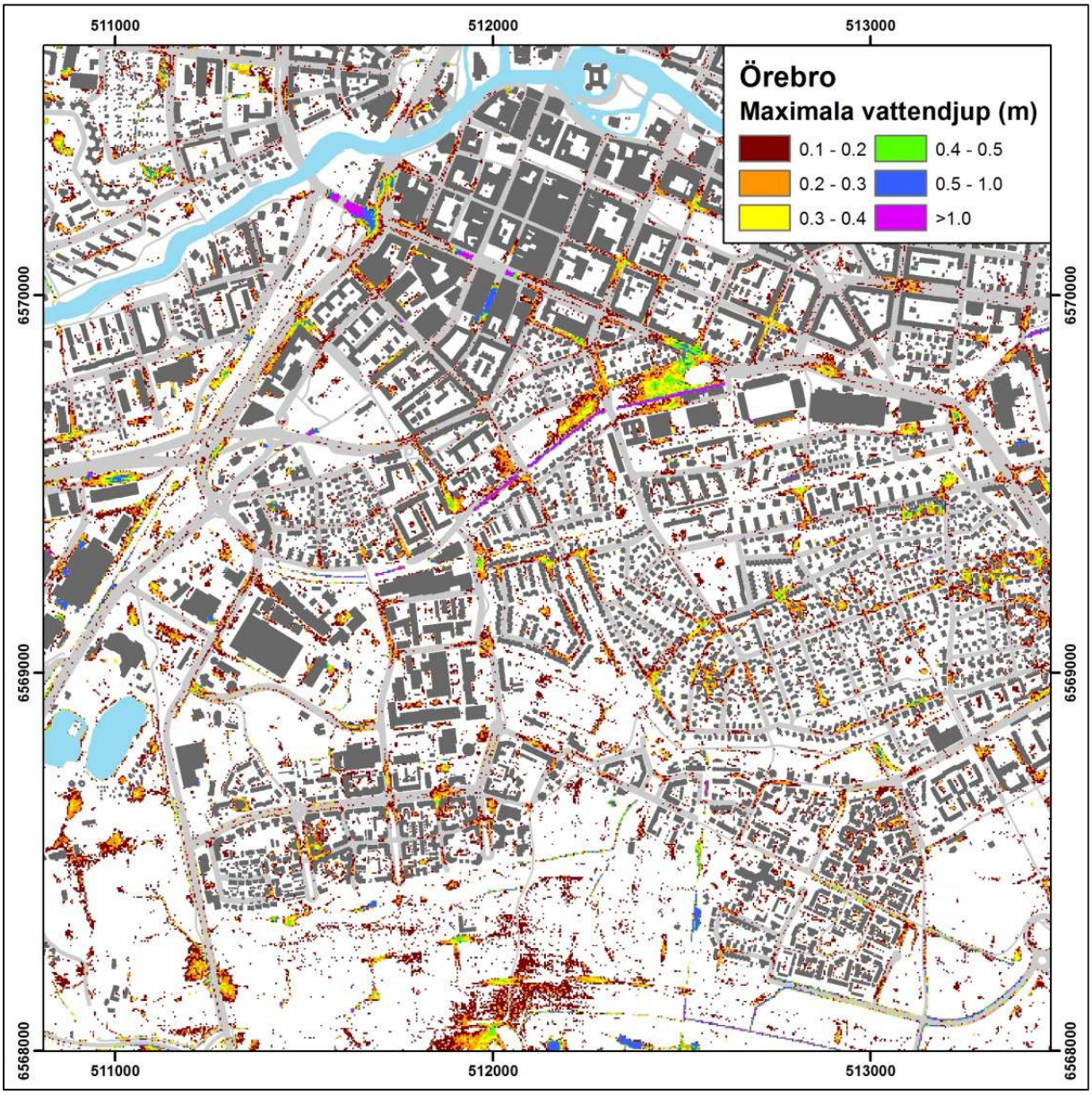
Figur 4-2. Beräknade maximala vattendjup för Älvsbyn, detaljbild nr 3 (se Figur 4-1).

4.3 Resultat – Örebro

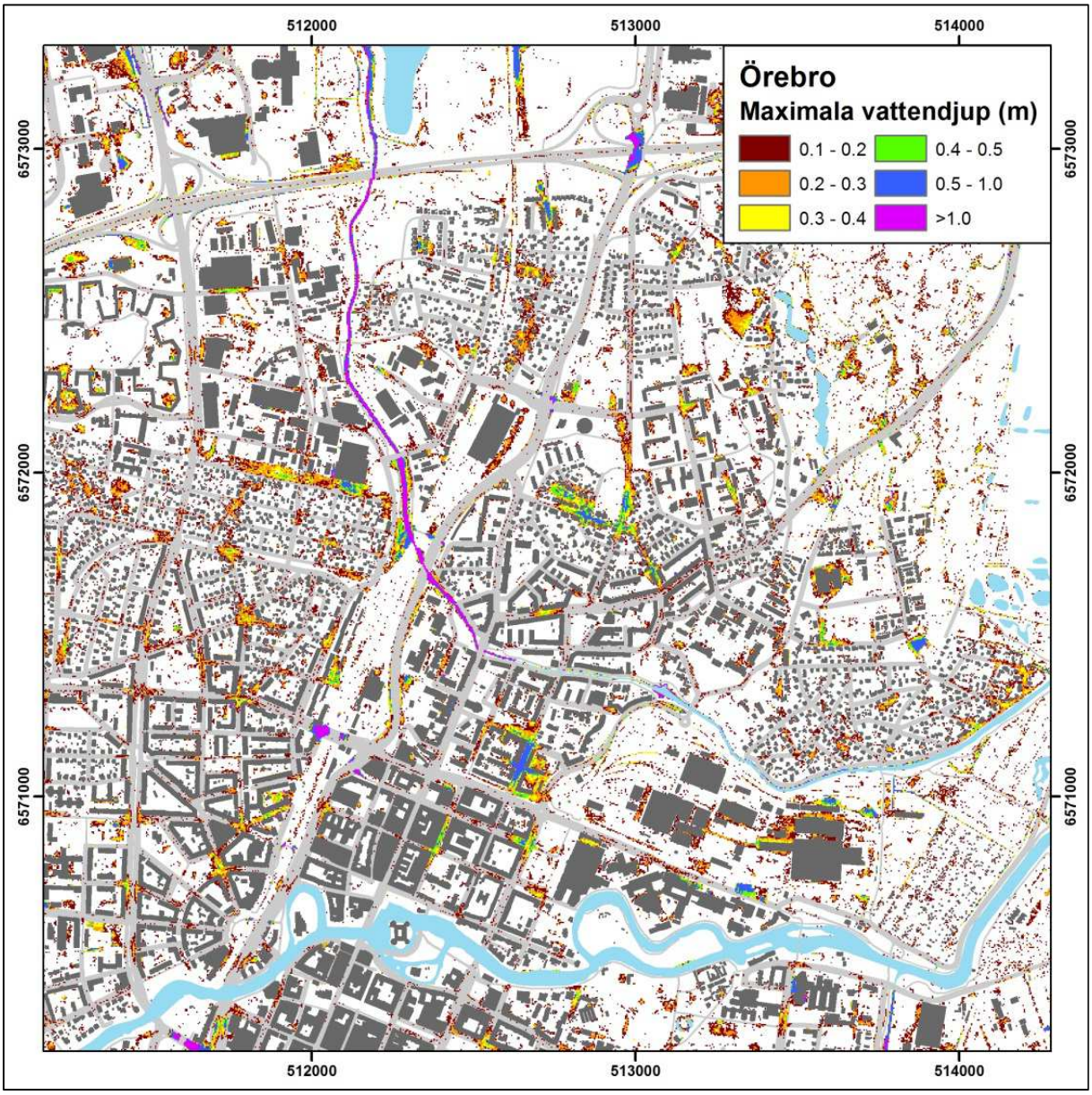
I Figur 4-3 visas en översiktsbild över Örebro med rödmarkerade områden för vilka detaljbilder över beräknad översvämningsutbredning och maximala vattendjup tagits fram. Ett exempel för område nummer 3 och 6 ges i Figur 4-4 - Figur 4-5. Samtliga detaljbilder (1-8) redovisas i Bilaga 2.



Figur 4-3. Översiktsbild över Örebro med numrerade områden för detaljbilder redovisade i Bilaga 2.



Figur 4-4. Beräknade maximala vattendjup för Örebro, detaljbild nr 3 (se Figur 4-3).



Figur 4-5. Beräknade maximala vattendjup för Örebro, detaljbild nr 6 (se Figur 4-3).

5. Analys av konsekvenser på samhällsviktig verksamhet

Baserat på resultaten från beräkning av de maximala vattendjupen i samband med ett 100-årsregn över Örebro har en kartläggning av påverkan på följande samhällssektorer studerats:

- Energiförsörjning
- Transporter
- Kommunalteknisk försörjning

För varje samhällssektor har påverkan på ett antal funktioner/verksamheter, studerats. Genom att kombinera GIS-skikt för översvämningsutbredningen och verksamheterna har påverkan kartlagts för vattendjup med 0,1 meters intervall upp till 0,5 m och för vattendjup över 1 m.

En kvantitativ analys av påverkan har gjorts genom att utvärdera vid vilka verksamheter som det beräknade vattendjupet överstiger ett visst djup. För att kunna genomföra analysen krävs att läget för verksamheterna (byggnaderna) är definierade i form av polygoner. En verksamhet har bedömts påverkad om vattendjupet intill huskroppen (polygonen) överstigs. Påverkan på vägar och järnväg har utvärderats som total översvämmad yta.

Huruvida vattendjupet överstigs i en (1) beräkningscell intill verksamheten eller om hela byggnaden är omgiven av vatten har naturligtvis stor betydelse för påverkan. Någon mer kvalitativ analys av sådant slag har dock inte gjorts.

5.1 Resultat – Örebro

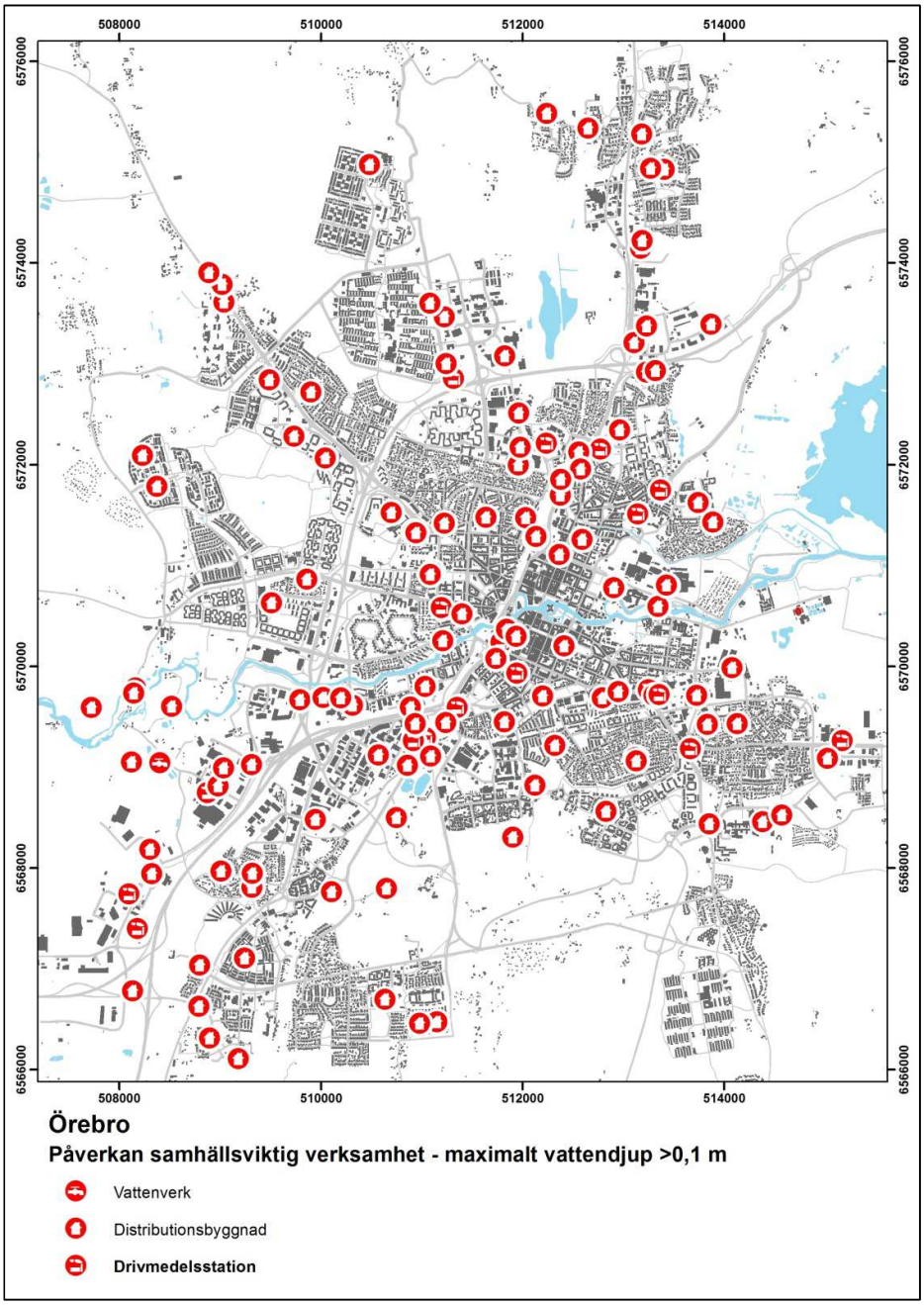
I Tabell 5-1 redovisas antalet påverkade verksamheter/funktioner inom ovan nämnda samhällssektorer för beräknade maximala vattendjup i samband med ett 100-årsregn. Arean för översvämningsutbredningen minskar för varje djupintervall varför även antalet påverkade verksamheter minskar successivt mellan 0,1 m, 0,2 m, 0,3 m osv. Således är antalet drabbade verksamheter störst för djup >0,1 m och minst för djup >1,0 m i Tabell 5-1.

Som exempel på hur tabellen ska tolkas kan följande exempel ges. Differensen mellan antalet transformatorstationer med vattendjup >0,1 m och >0,4 m är 110 (118-8). Således är det beräknade maximala vattendjupet 0,1-0,4 m vid 110 stationer men överstiger 0,4 m endast vid åtta (8) stycken.

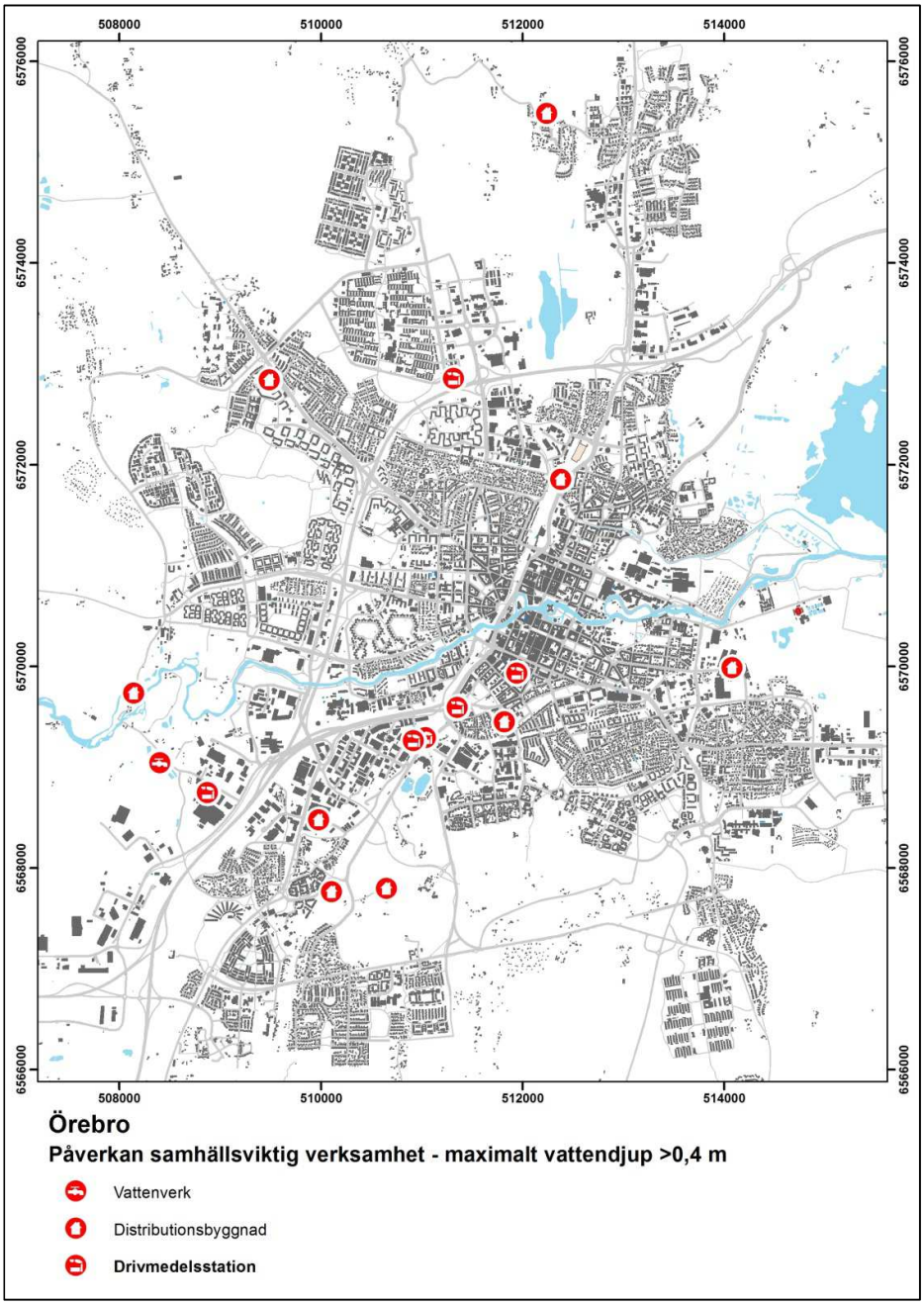
I Figur 5-1 och Figur 5-2 visas läget för påverkade verksamheter med vattendjup över 0,1 respektive över 0,4 m. Kartor för resterande vattendjupsintervall redovisas i Bilaga 3. Resultat för påverkade vägar redovisas inte. För dessa resultat hänvisas till Figur 6 – Figur 13 i Bilaga 2 som visar detaljbilder över beräknade översvämningsdjup.

Tabell 5-1. Antal påverkade funktioner/verksamheter för beräknade maximala vattendjup i samband med ett 100-årsregn. Påverkan på vägar redovisas som översvämmad vägyta (ha).

	Antal påverkade funktioner/verksamheter					
	>0,1 m	**>0,2 m**	**>0,3 m**	**>0,4 m**	**>0,5 m**	**>1,0 m**
Energiförsörjning						
Transformatorstationer	118	37	17	8	5	-
Distributionsstationer	3	1	1	1	-	-
Drivmedelsstationer	21	11	6	6	6	2
Transporter						
Vägyta (ha)	107	48.8	23.8	11.9	6.4	1.2
Vägyta med riksintresse (ha)	2,13	1,17	0,74	0,57	0,46	0,16
Järnvägsterminaler	-	-	-	-	-	-
Kommunalteknisk försörjning						
Avloppsreningsverk	-	-	-	-	-	-
Avloppsanläggningar	-	-	-	-	-	-
Vattenverk	1	1	1	1	-	-



Figur 5-1. Påverkade verksamheter inom sektorerna energiförsörjning och kommunalteknisk försörjning. Beräknat vattendjup >0,1 m.



Figur 5-2. Påverkade verksamheter inom sektorerna energiförsörjning och kommunalteknisk försörjning. Beräknat vattendjup >0,4 m.

6. Slutsatser och rekommendationer

Syftet med föreliggande studie har varit att identifiera en metod som är lämplig för en första översiktlig kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet. Valet av metodik föll på en 2D analys vilken ger en fysikalisk korrekt beskrivning av markavrinningen till skillnad från enklare GIS-analyser. Vid tillämpning av metodiken rekommenderas att hänsyn tas till dagvattensystemets kapacitet och markens infiltrationsförmåga, t.ex. genom schablonmässiga avdrag från nederbördsvolymen. Annars riskerar såväl beräknad översvämningsutbredning som vattendjup att överskattas.

Att inte detaljerad ledningsnätsmodellering inkluderas i föreslagen metod, dvs. en kopplad 2D/1D-analys, beror till stor del på att det är mycket kraftiga regn, skyfall, som ska analyseras. Vid dessa extrema regn är ledningssystemets kapacitet begränsad i förhållande till regnvolym och intensitet.

Ytterligare motiv till valet av ren 2D-analys framför 1D/2D är att analysen kräver en mindre mängd indata och är betydligt snabbare (och därmed billigare). Det är dock ingen tvekan om att det finns ett flertal fördelar med att inkludera en ledningsnätsmodell för dagvattensystemet. Förutom att ta bort en del av osäkerheten i bedömningen av kapaciteten vidgas användningsområdet för modellen. Den kan då även användas vid mer detaljerade studier, exempelvis i samband med åtgärdsplanering (både i ledningsnät och ovan mark), kostnads/nytto-analyser och analyser av mindre extrema regn. Det finns dock inget som hindrar att börja med en översiktlig 2D-analys för att senare koppla på en hydraulisk ledningsnätsmodell. Detta är snarare en rekommendation. Det första steget kan bland annat ge värdefull information om hur det fortsatta arbetet bör prioriteras, t ex baserat på identifierade problemområden.

Baserat på resultaten från ett flertal känslighetsanalyser rekommenderas en numerisk upplösning på 4 m eller bättre, att en bearbetning av höjdmodellen görs för att ta hänsyn till byggnader och viadukter samt att ytans råhet differentieras mellan olika markanvändningstyper.

Avseende belastning bör regnet vara av sådan dignitet att det med god marginal överstiger ledningssystemets kapacitet. Detta är en förutsättning för att det skall vara rimligt att förenkla ledningssystemets inverkan till ett schablonmässigt avdrag från regnet och arbeta med en markavrinningsmodell i 2D. Ju närmre det valda regnet ligger i förhållande till ledningssystemets kapacitet, ju större blir osäkerheten i denna förenkling. Rekommendationen är att förenklad 2D-analys bör genomföras med regn som har en återkomsttid på 100 år eller mer. Om ledningsnätets kapacitet bedöms understiga 10 års återkomsttid är det rimligt att sänka denna giltighetsgräns till ett 50-årsregn.

Vald metod har tillämpats på städerna Örebro och Älvsbyn och för Örebro har påverkan på tre olika samhällsektorer utvärderats. Påverkan har utvärderats via en kvantitativ analys där vattendjup invid utvalda verksamheter analyserats. Detta ger en översiktlig bild av påverkan. Innan eventuell åtgärdsplanering påbörjas rekommenderas dock att en mer kvalitativ analys görs där påverkan för respektive verksamhet studeras mer detaljerat. Det kan då även vara motiverat med högre detaljeringsgrad vad gäller t.ex. översvämningsberäkningens numeriska upplösning och koppling till en ledningsnätsmodell.

Sammantaget ger den beskrivna och rekommenderade metodiken en översiktlig bild av påverkan från skyfall på samhällsviktig verksamhet med en måttlig arbetsinsats. Metodiken kan med fördel användas av kommunerna i deras risk- och sårbarhetsanalyser samt vid såväl översikts- som detaljplanering.

Referenser

SMHI, 2014. http://www.smhi.se/kunskapsbanken/rotblota-1.17339 Besökt 2014-01-10 kl. 14.00

Hernebring, C., Mårtensson, E., 2013. Pluviala översvämningar: Konsekvenser vid skyfall över tätorter, en kunskapsöversikt. Publikation MSB567-13.

Defra, 2008. Making Space for Water Urban Flood Risk and Integrated. Drainage Pilots: Upper Rea Catchment including Longbridge, Northfield and Rubery Districts of Birmingham. Volume Three – Model Build Report. Rapportnr: 5008-BM01320-BMR-02.

Henonin, J., Russo, B., Mark, O., Gourbesville, P. (2013) Real-time urban flood forecasting and modeling – a state of the art. Journal of Hydroinformatics, In Press.

Wang, Y., Lovell, L., Wicks, J., (2013) Thinking big: National scale flood mapping. International Conference on Flood Resilience, 5-7 September 2013, Exeter.

URS, 2013. Lambeth Strategic Flood Risk Assessment. Appendix E – Surface Water Modelling. Rapportnummer: 47063877.

Svenskt Vatten (2011), publikation P104: Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem.

Prodanovic D., Djordjevic S., Maksimovic C., (1998): GIS assisted model for dual drainage simulation. 3rd International Conference of Hydroinformatics, 24-26 augusti, Köpenhamn, Danmark, pp 535-542.

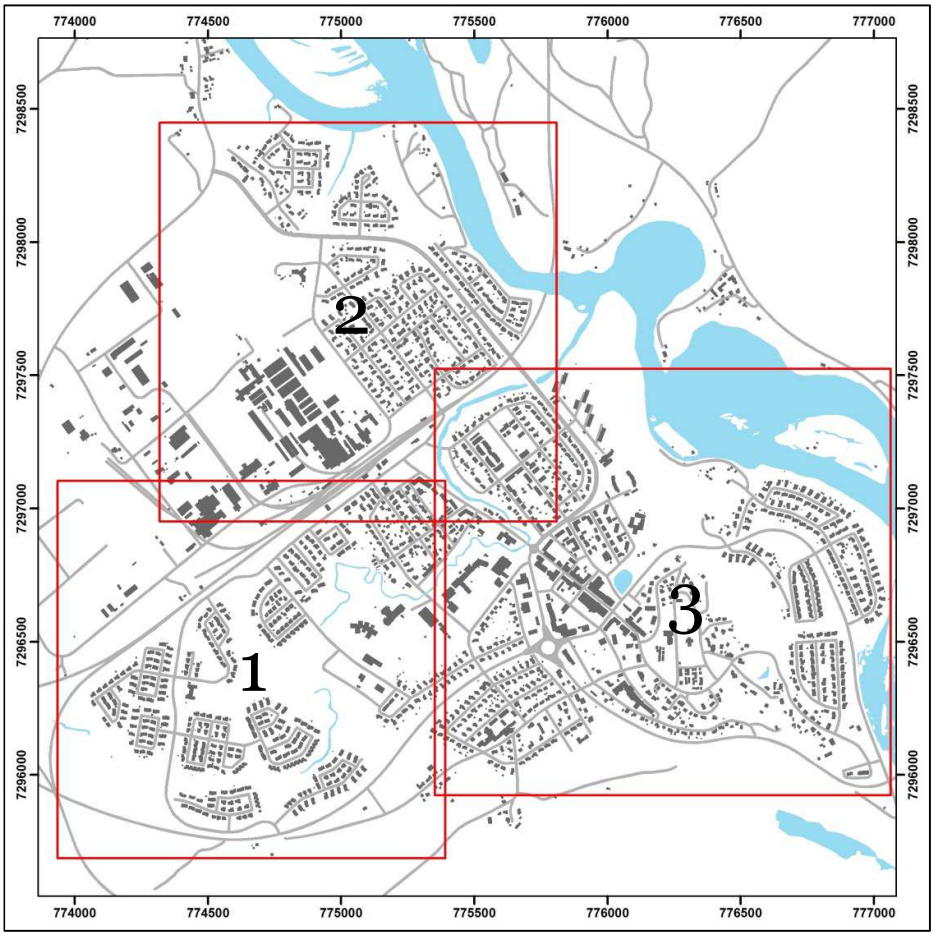
Abdullah A.F., Vojinovic R., Price R.K., Aziz N.A.A. (2012): A methodology for processing raw LiDAR data to support urban flood modeling framework. Journal of Hydroinformatics, Vol 14, No 1, pp 75-92.

Vojinovic Z., Seyoum S.D., Mwalwaka J.M., Price R.K. (2011): Effects of model schematisation, geometry and parameter values on urban flood modeling. Water Science & Technology, Vol 63, No 3, pp 462-467.

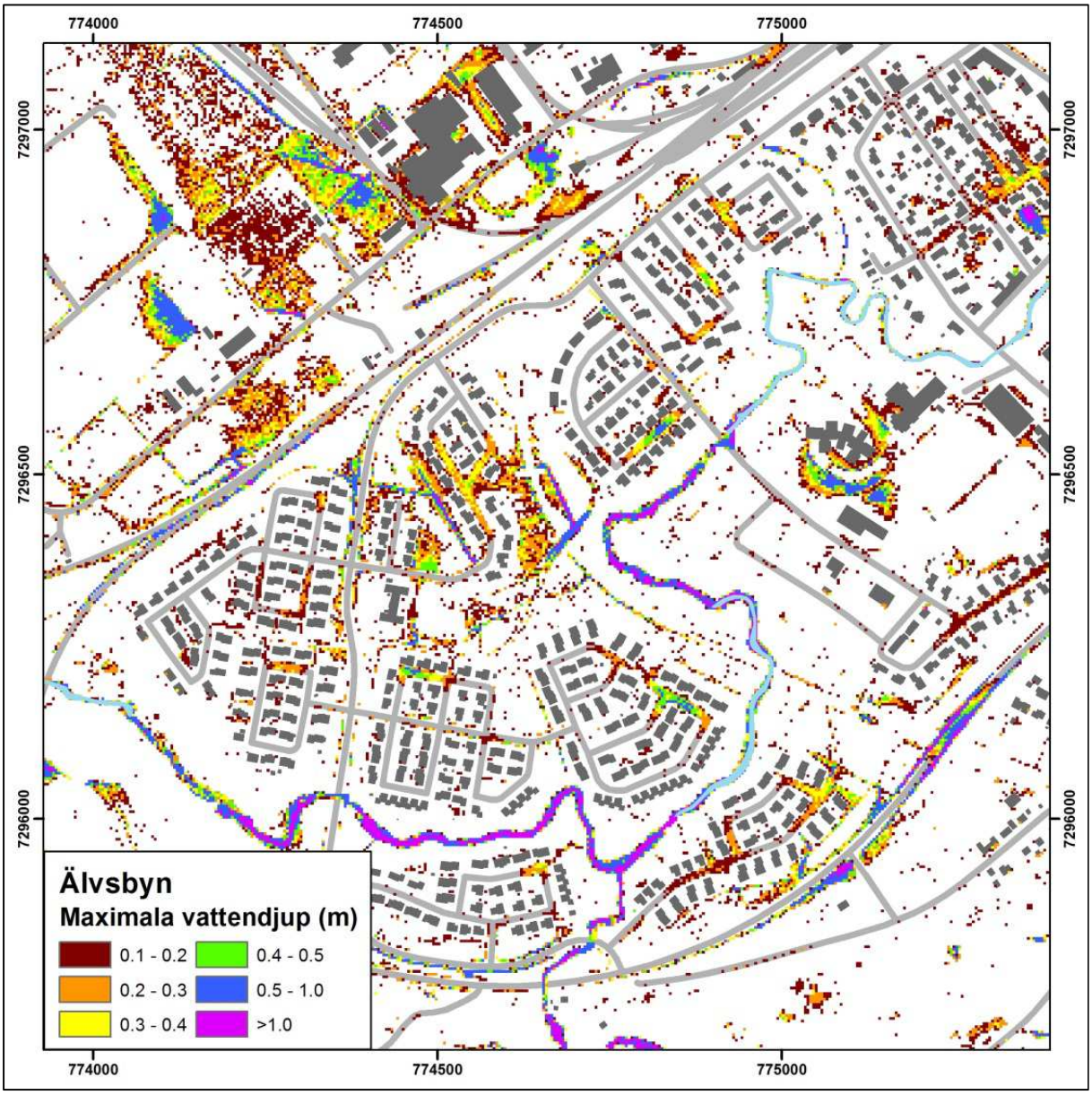
Lantmäteriet (2011): Nyhetsbrev 2011:1 Ny Nationell Höjdmodell.

Bilaga 1: Resultat Älvsbyn – maximala vattendjup

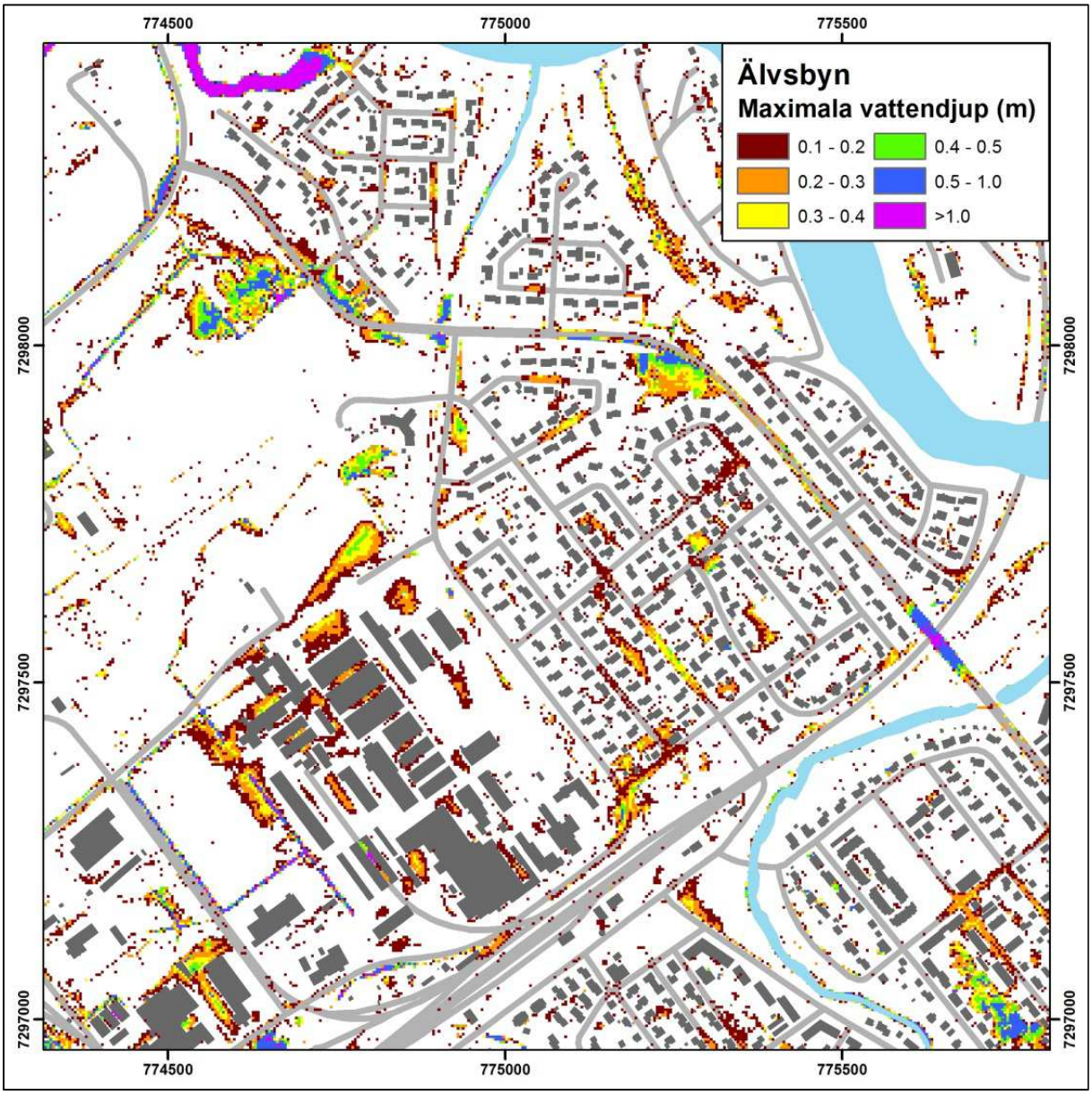
I Figur 1 visas en översiktsbild över Älvsbyn med rödmarkerade områden för vilka beräkningsresultat i form av maximala vattendjup redovisas i Figur 2 till Figur 4.



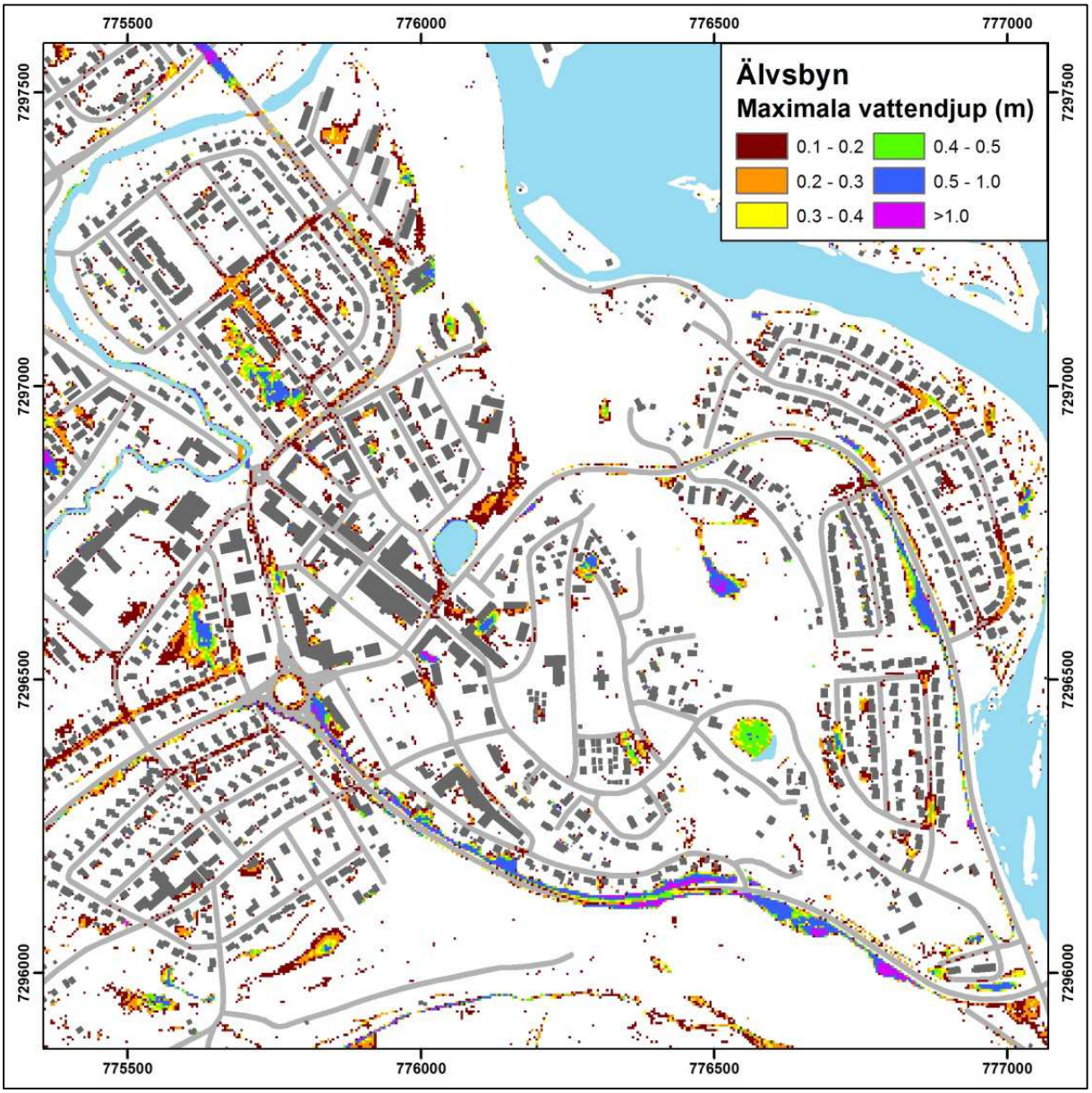
Figur 1. **Översiktsbild över Älvsbyn med numrerade områden för detaljbilder redovisade i Figur 2 till Figur 4.**



Figur 2. **Beräknade maximala vattendjup för Älvsbyn, detaljbild nr 1 (se Figur 1).**



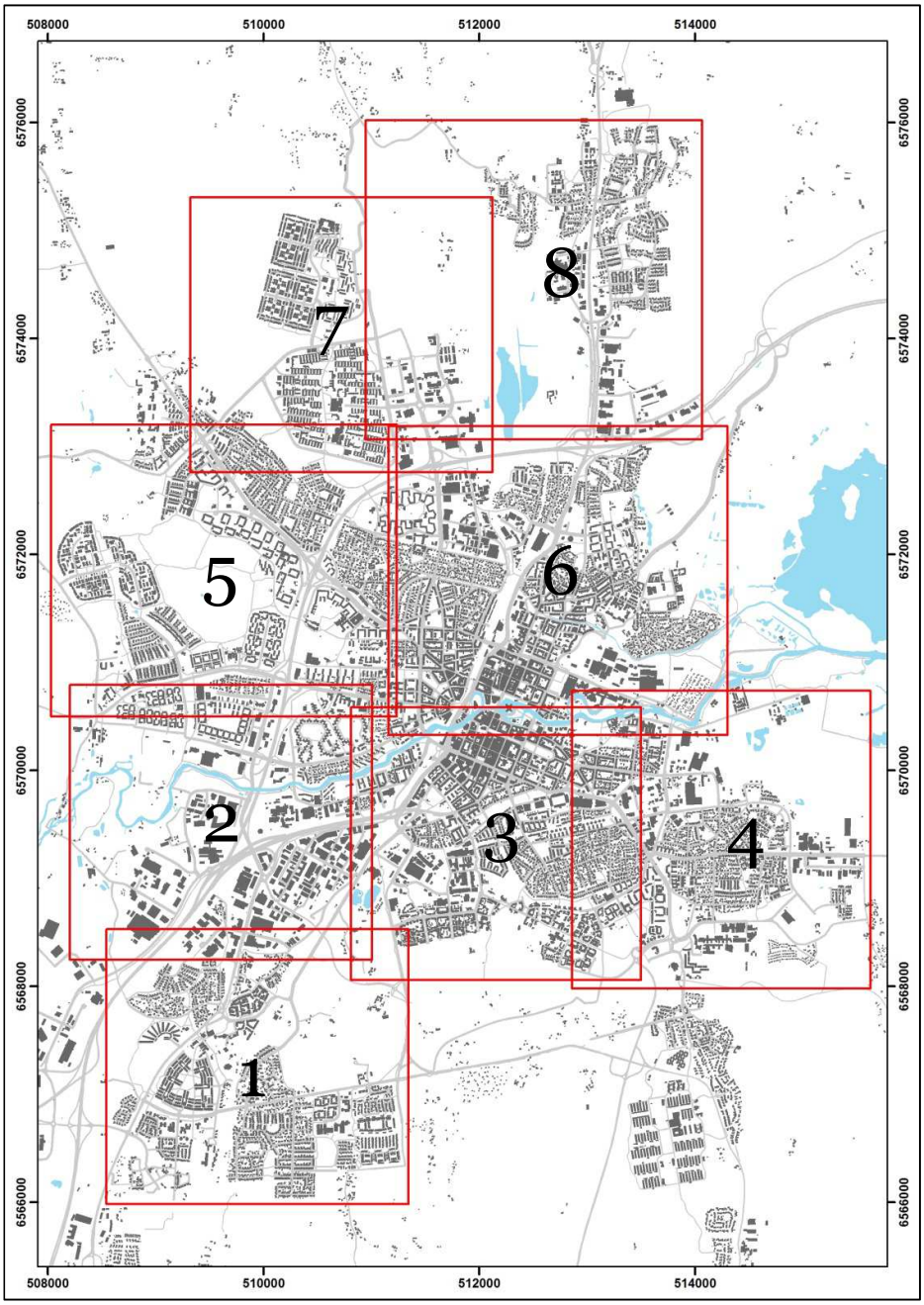
Figur 3. **Beräknade maximala vattendjup för Älvsbyn, detaljbild nr 2 (se Figur 1).**



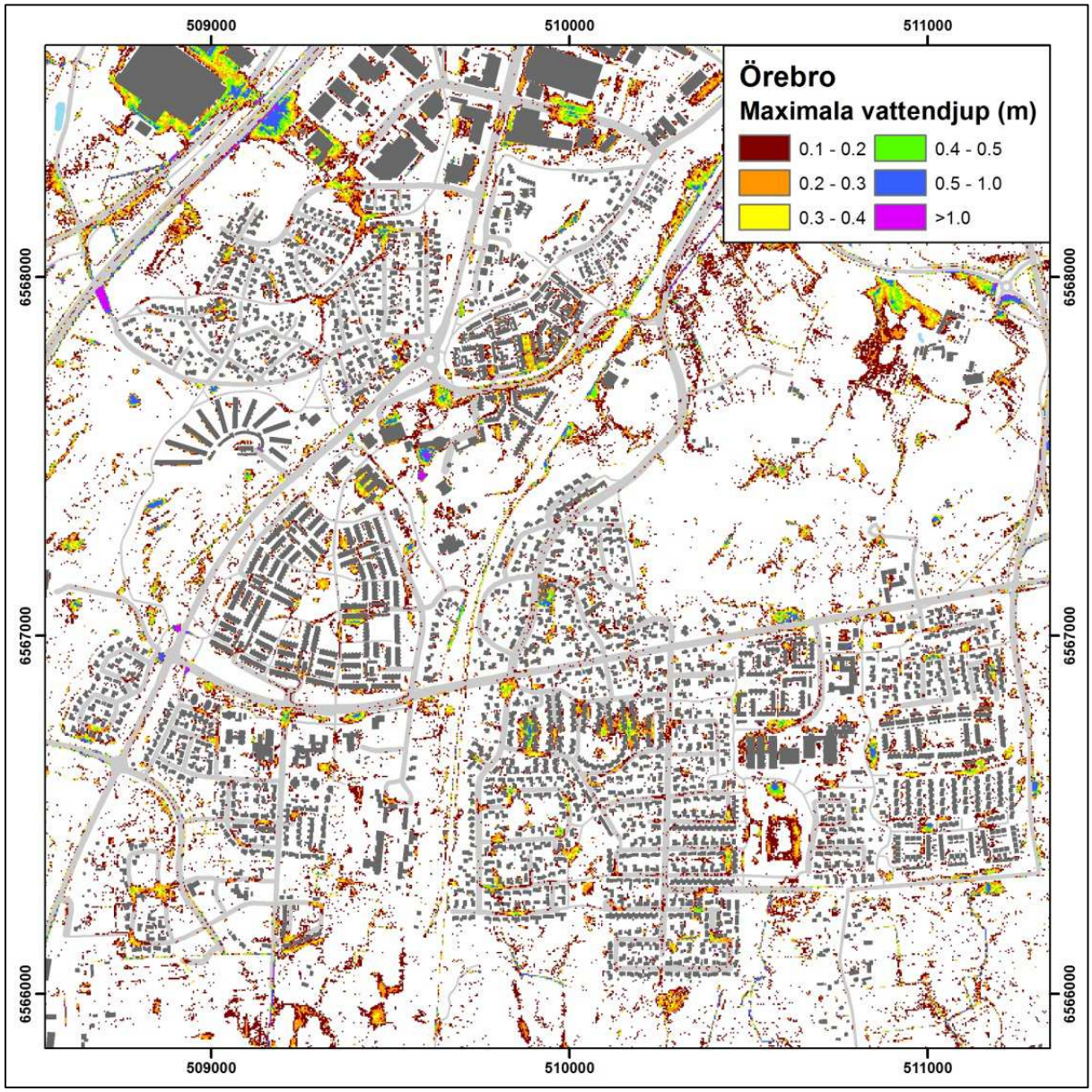
Figur 4. **Beräknade maximala vattendjup för Älvsbyn, detaljbild nr 3 (se Figur 1).**

Bilaga 2: Resultat Örebro – maximala vattendjup

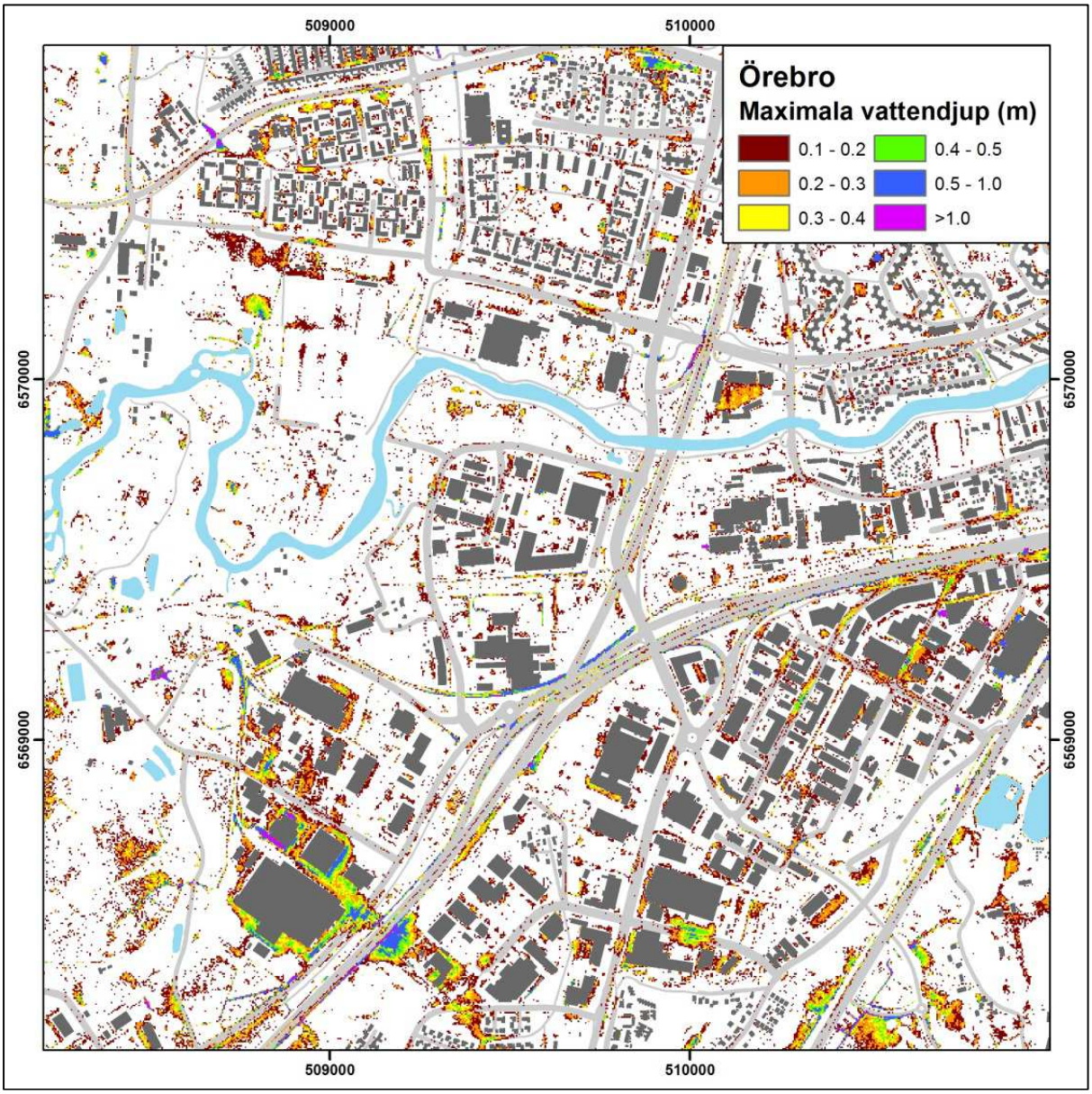
I Figur 5 visas en översiktsbild över Örebro med rödmarkerade områden för vilka beräkningsresultat i form av maximala vattendjup redovisas i Figur 6 till Figur 13.



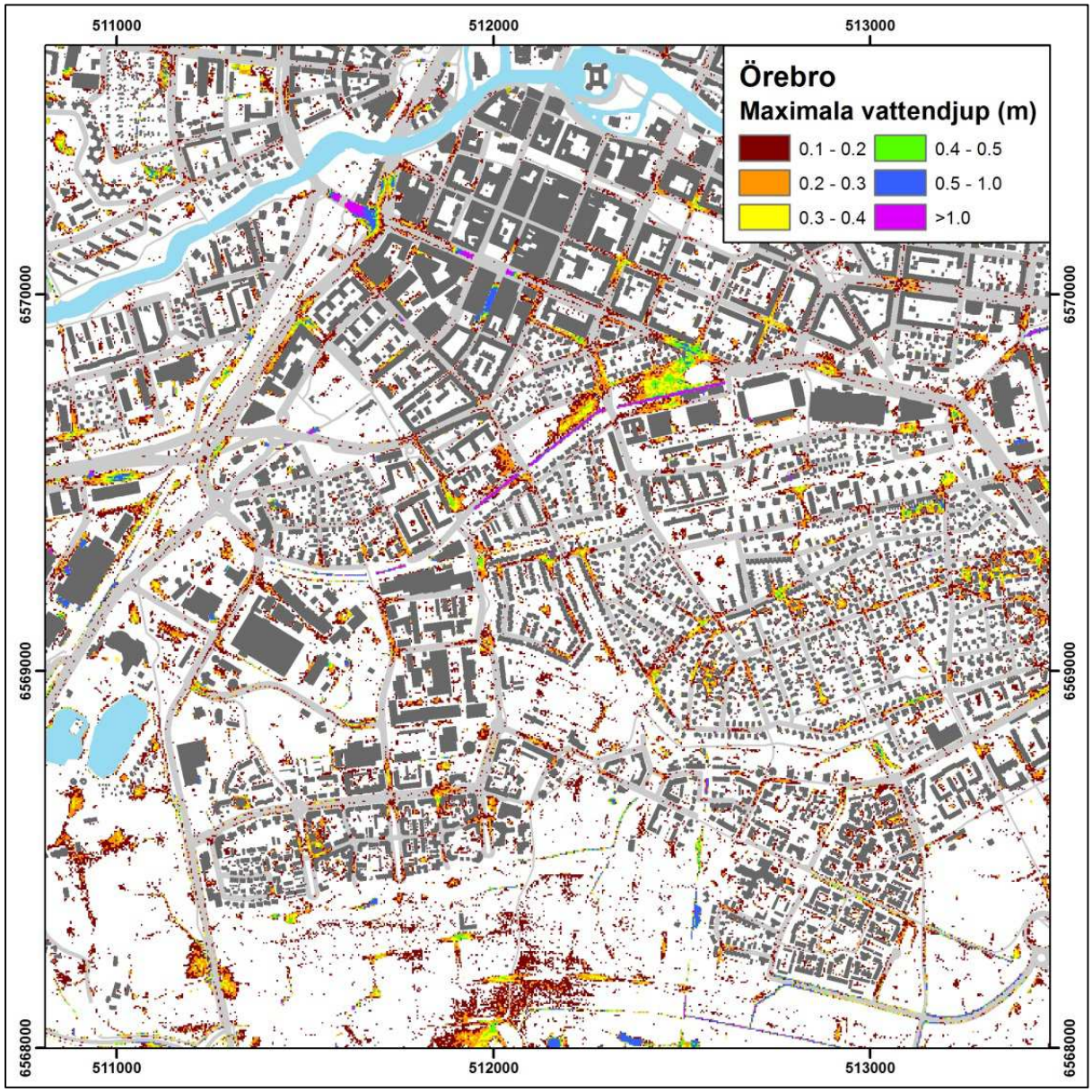
Figur 5. **Översiktsbild över Örebro med numrerade områden för detaljbilder redovisade i Figur 6–13.**



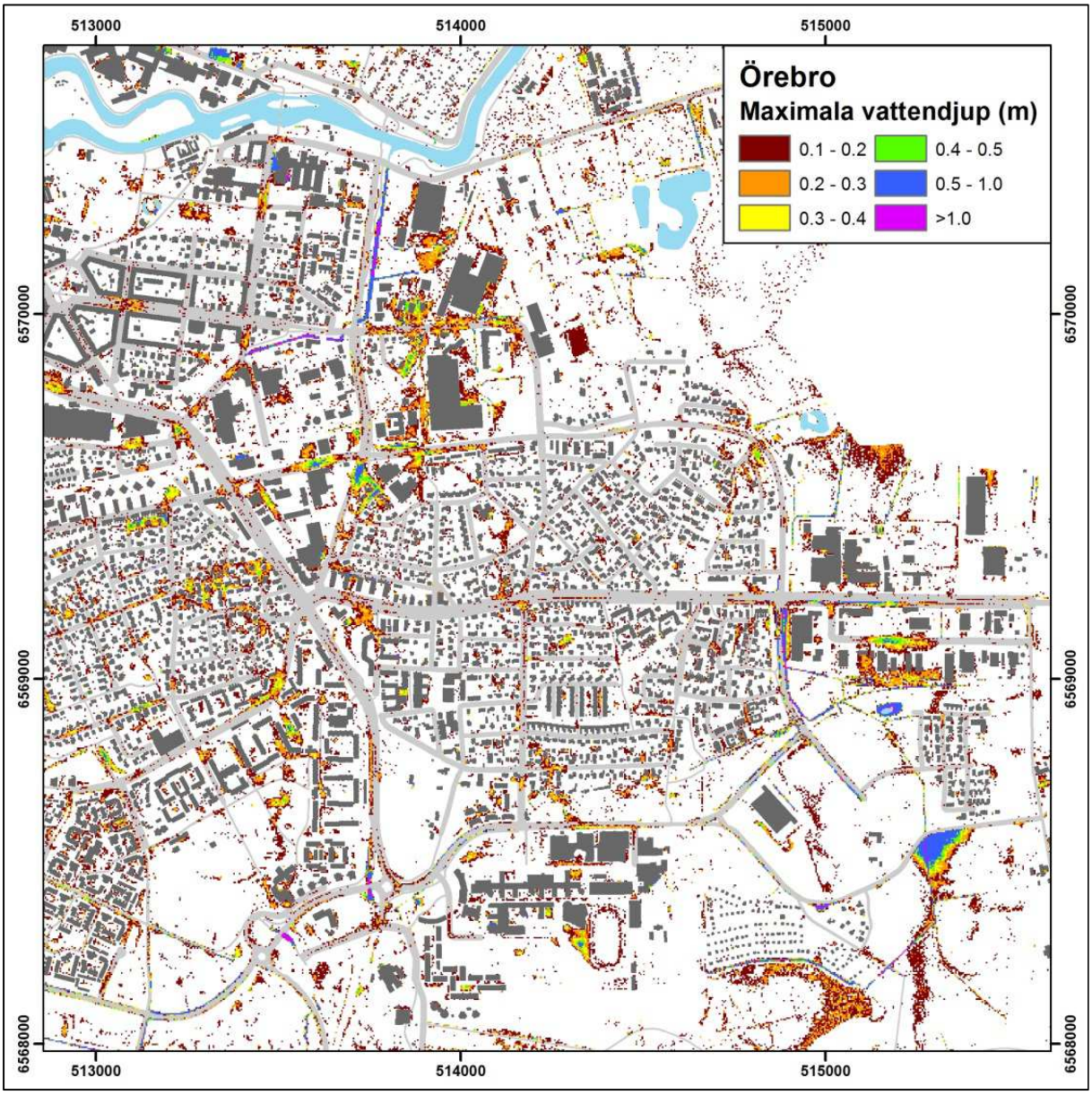
Figur 6. **Beräknade maximala vattendjup för Örebro, detaljbild nr 1 (se Figur 5).**



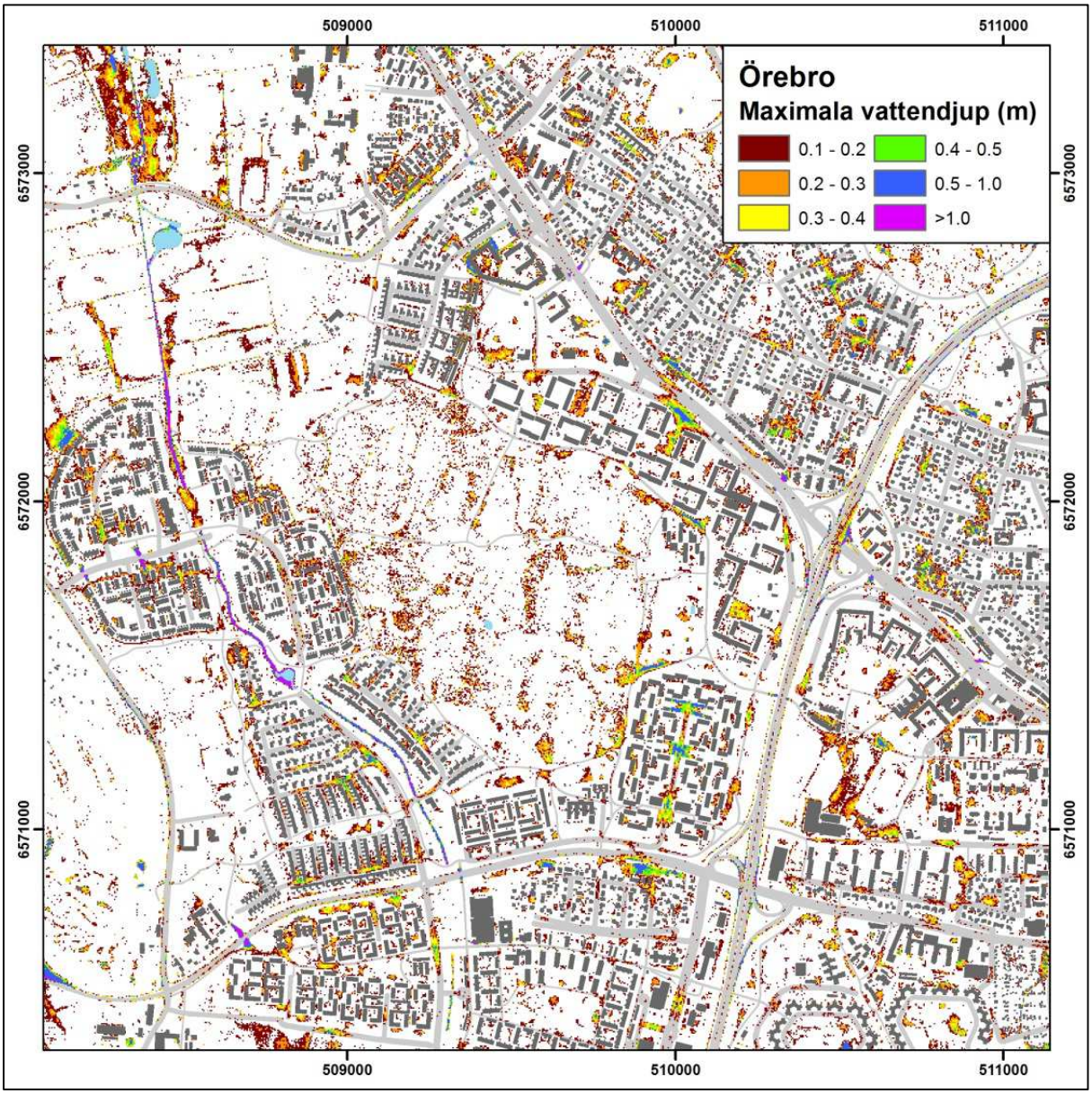
Figur 7. **Beräknade maximala vattendjup för Örebro, detaljbild nr 2 (se Figur 5).**



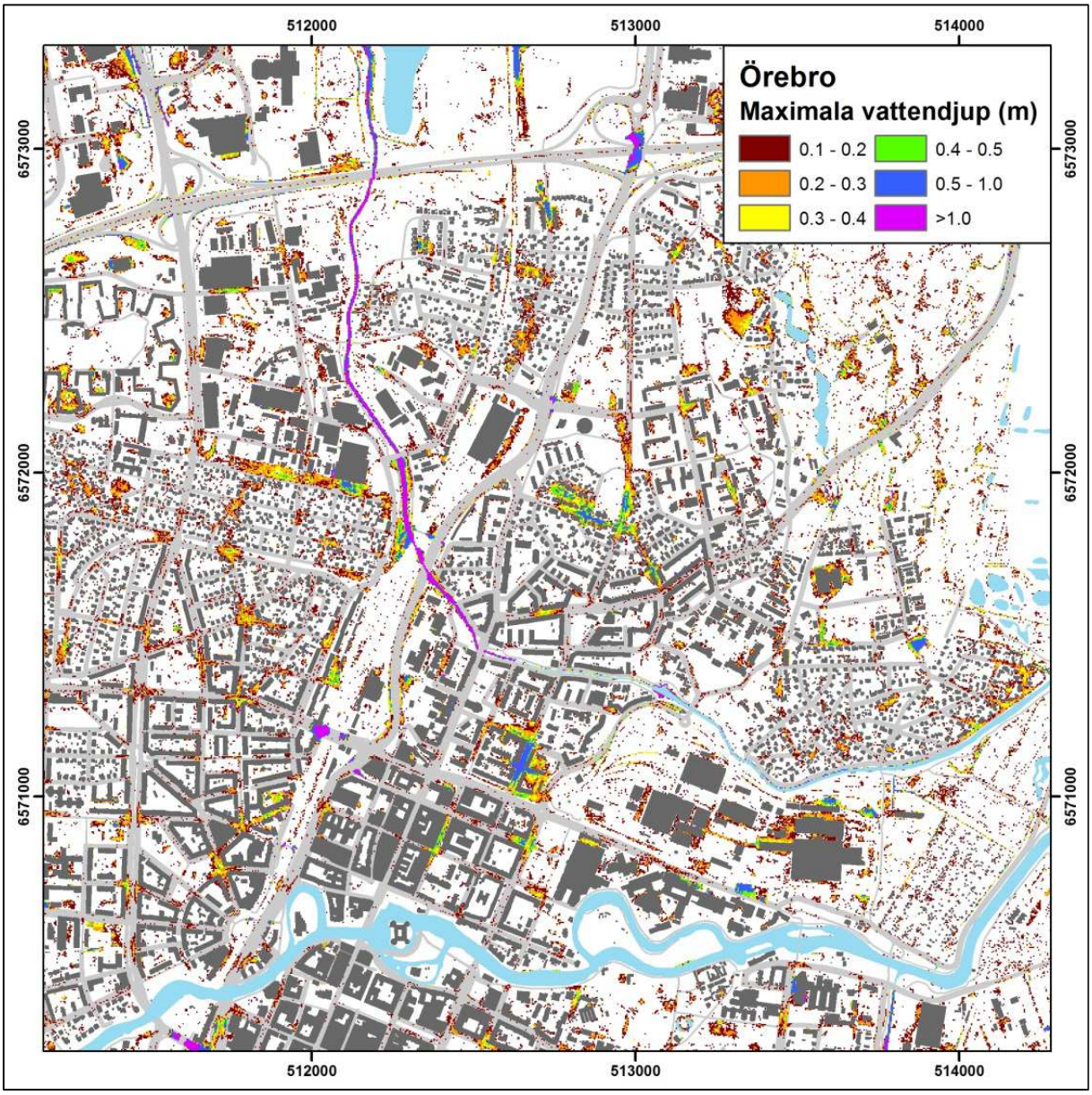
Figur 8. **Beräknade maximala vattendjup för Örebro, detaljbild nr 3 (se Figur 5).**



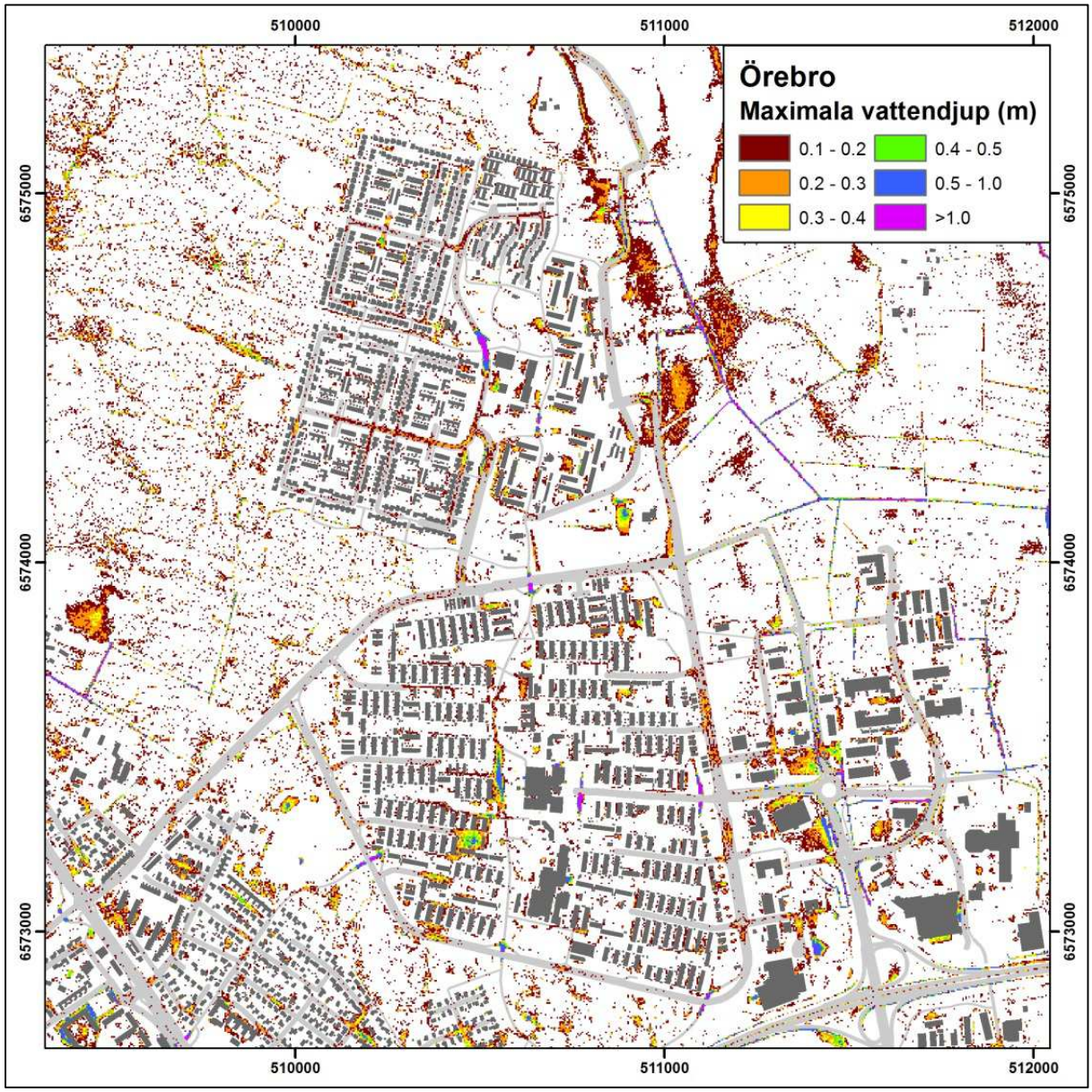
Figur 9. **Beräknade maximala vattendjup för Örebro, detaljbild nr 4 (se Figur 5).**



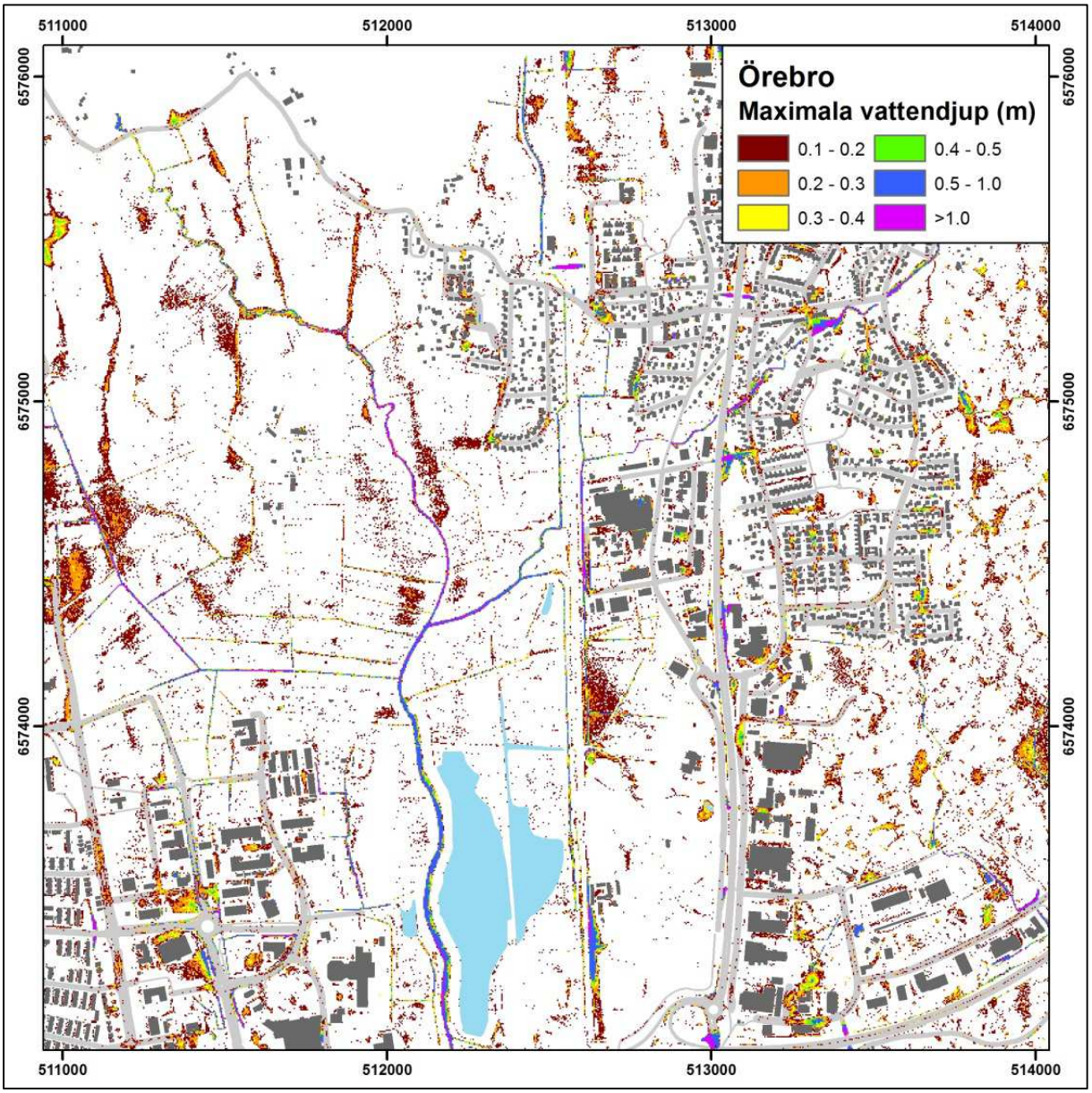
Figur 10. **Beräknade maximala vattendjup för Örebro, detaljbild nr 5 (se Figur 5).**



Figur 11. **Beräknade maximala vattendjup för Örebro, detaljbild nr 6 (se Figur 5).**



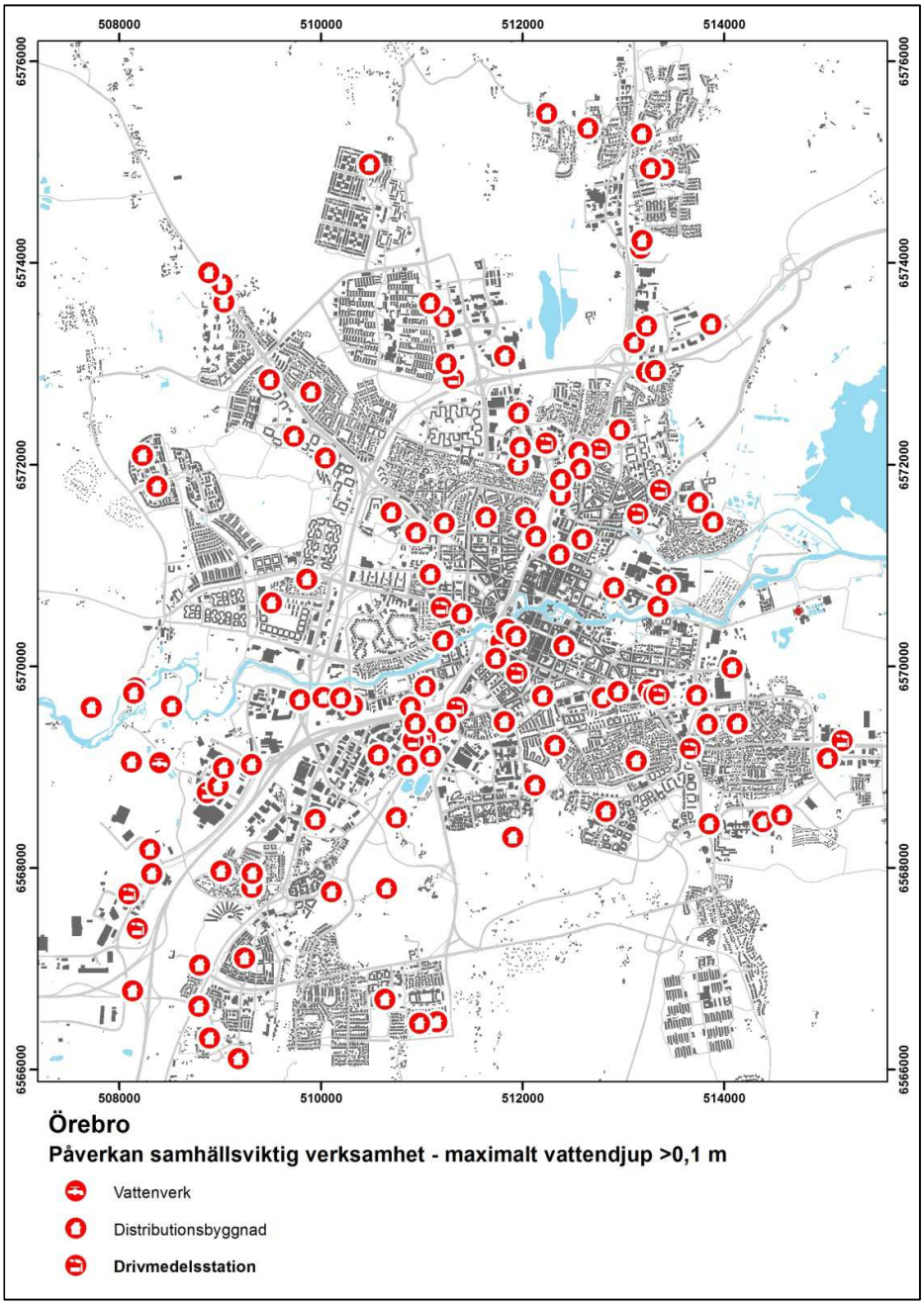
Figur 12. **Beräknade maximala vattendjup för Örebro, detaljbild nr 7 (se Figur 5).**



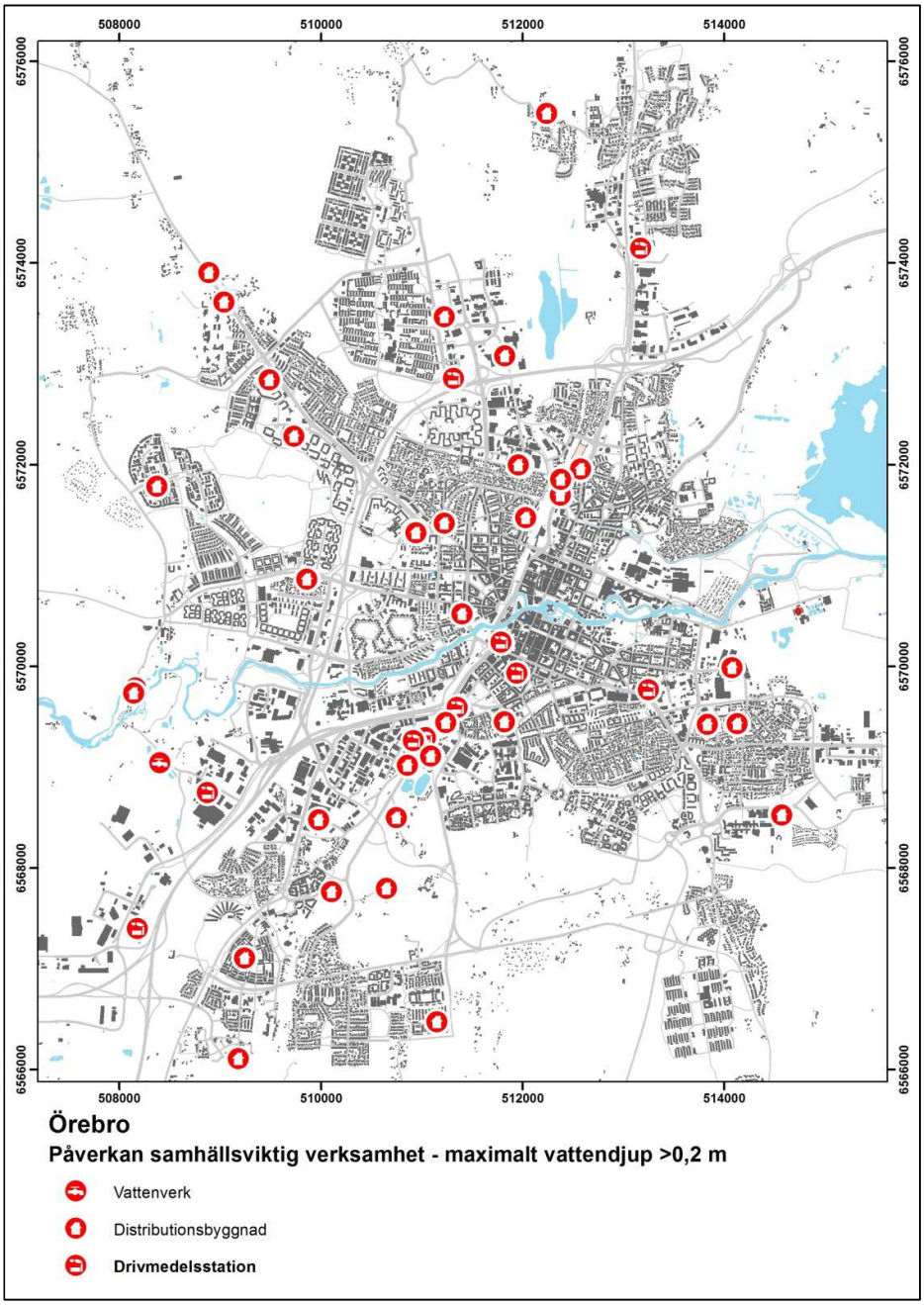
Figur 13. **Beräknade maximala vattendjup för Örebro, detaljbild nr 8 (se Figur 5).**

Bilaga 3: Resultat Örebro – påverkan på samhällsviktig verksamhet

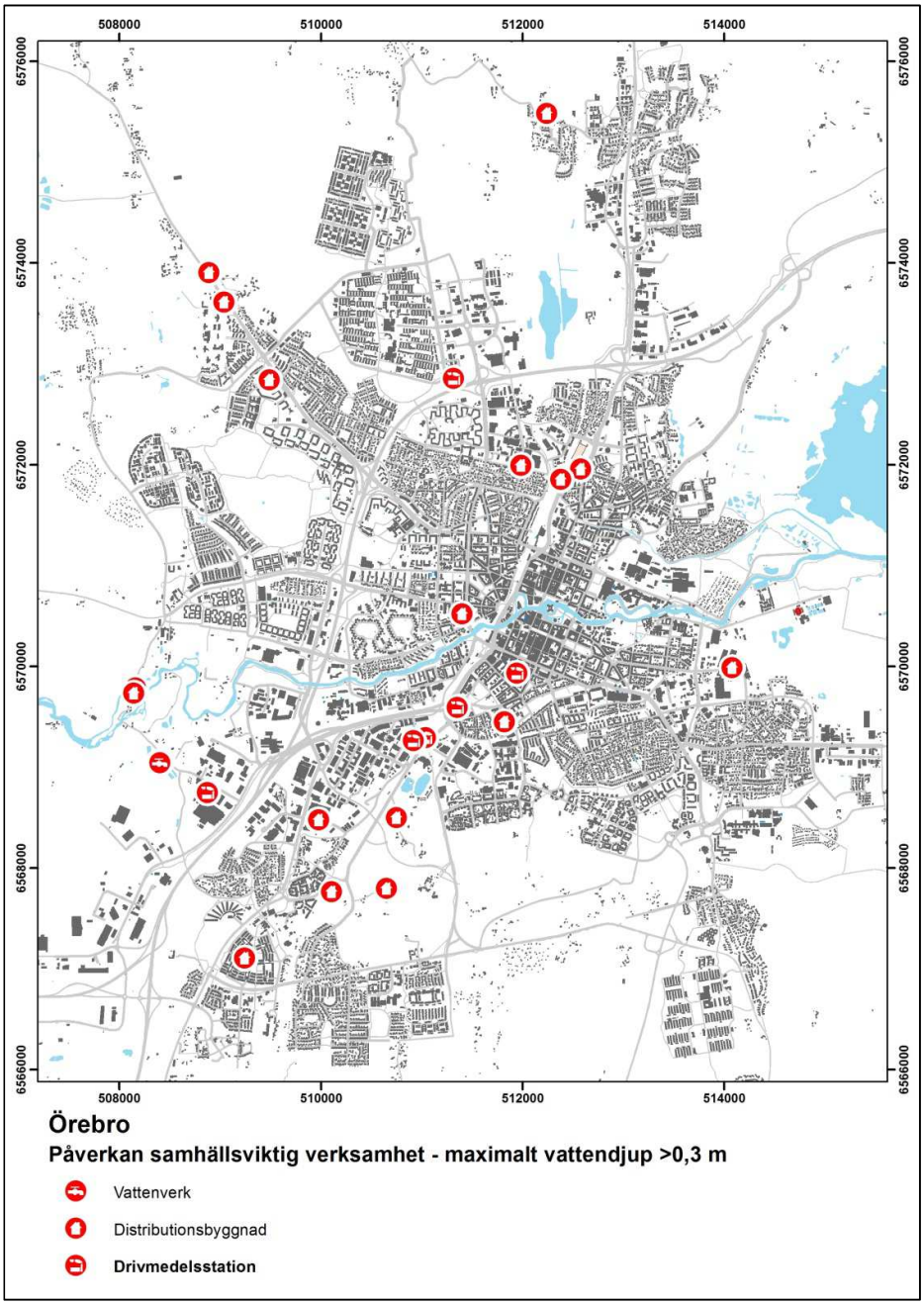
I Figur 14-19 visas läget för påverkade verksamheter med vattendjup över 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 och 1,0 m inom samhällssektorerna kommunalteknisk försörjning och energiförsörjning.



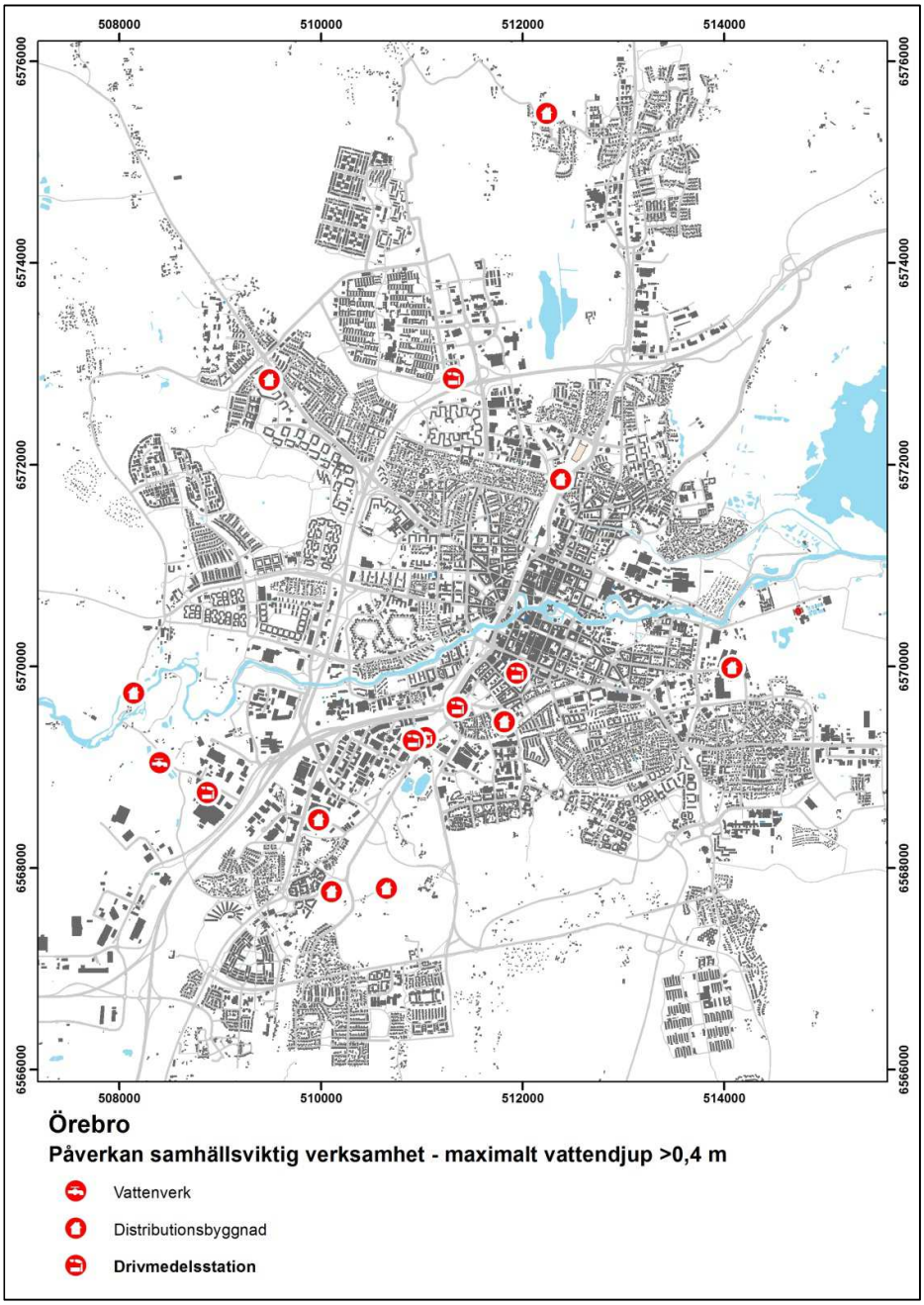
Figur 14. **Påverkade verksamheter inom sektorerna energiförsörjning och kommunalteknisk försörjning. Beräknat vattendjup >0,1 m.**



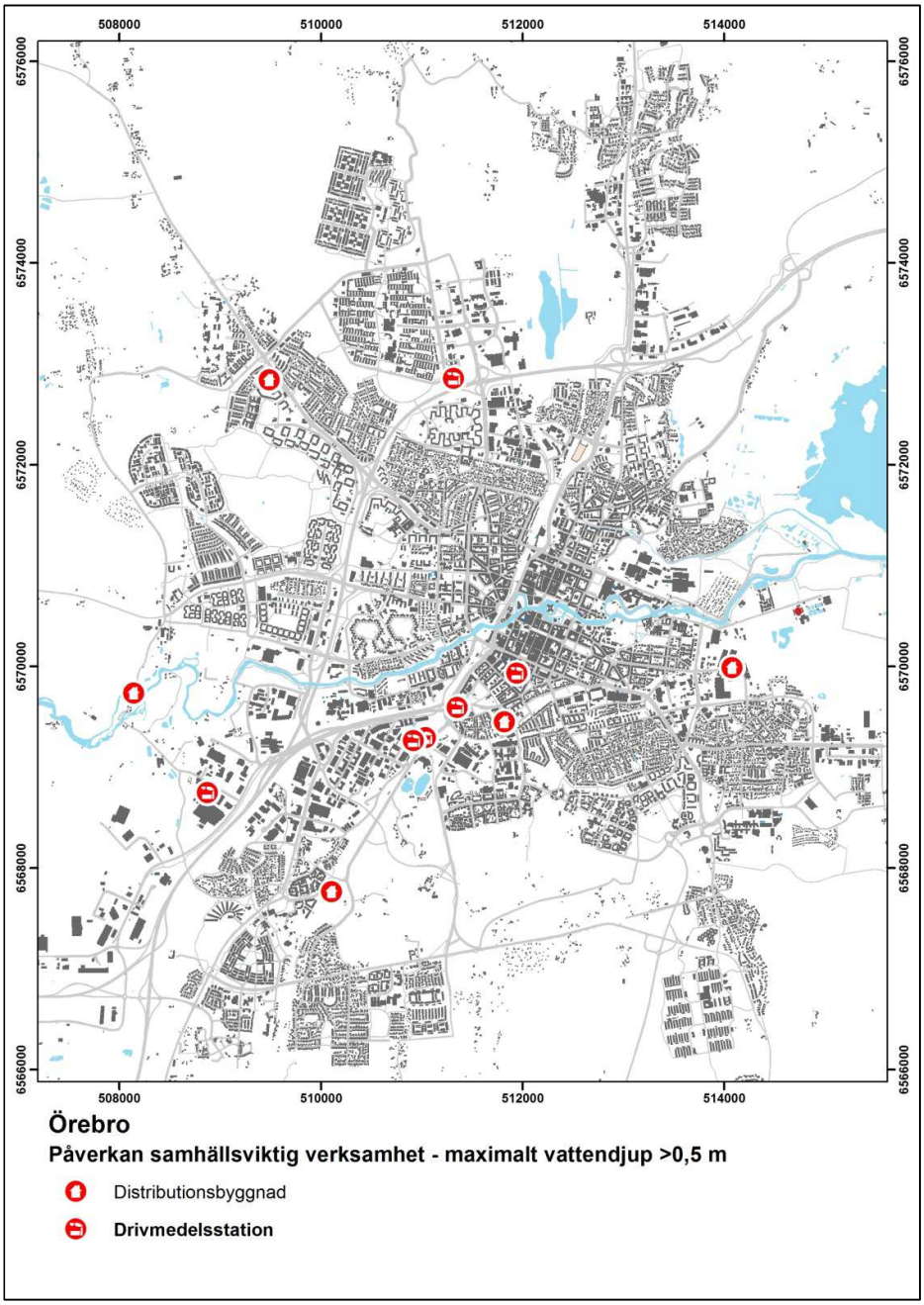
Figur 15. **Påverkade verksamheter inom sektorerna energiförsörjning och kommunalteknisk försörjning. Beräknat vattendjup >0,2 m.**



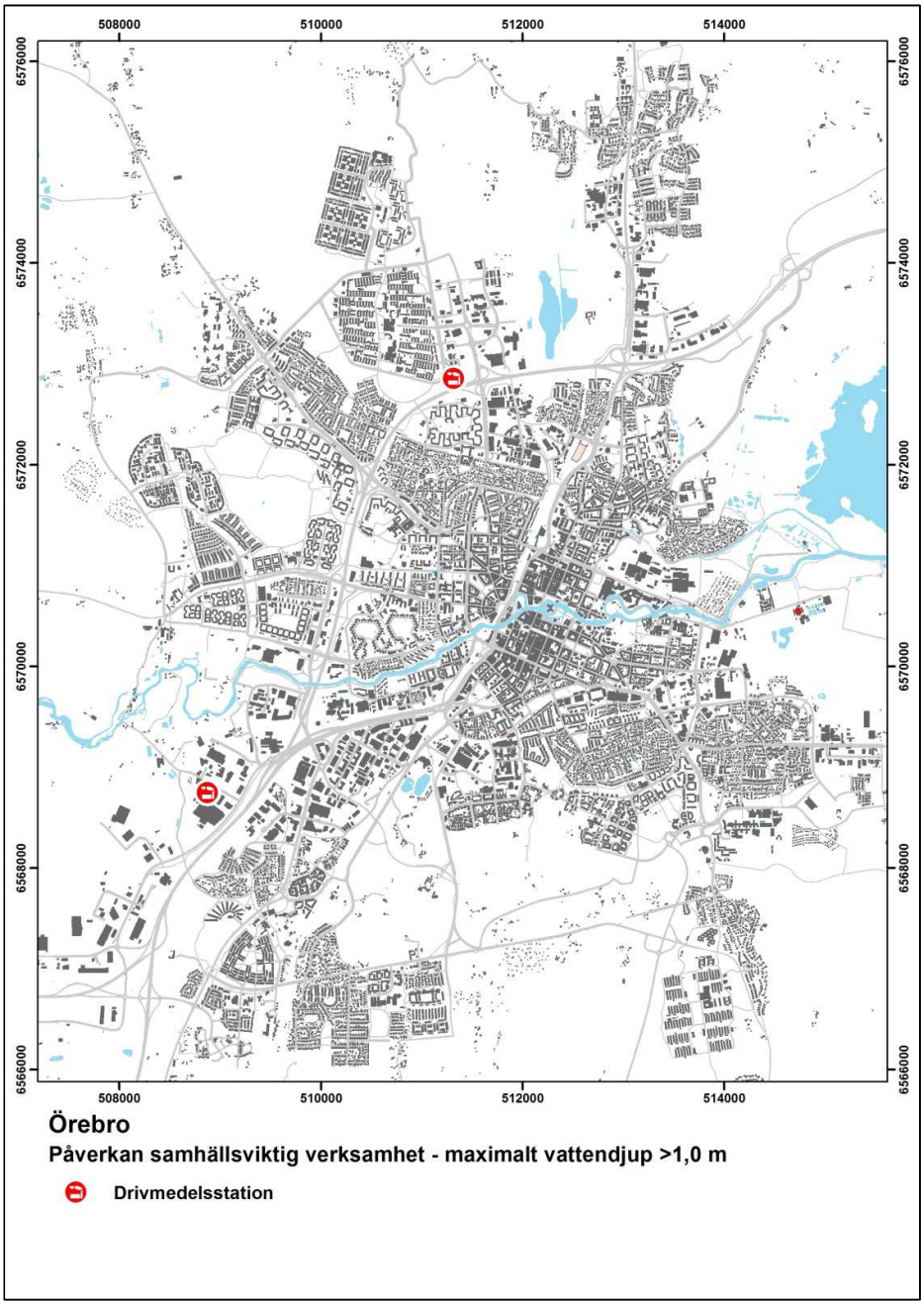
Figur 16. **Påverkade verksamheter inom sektorerna energiförsörjning och kommunalteknisk försörjning. Beräknat vattendjup >0,3 m.**



Figur 17. **Påverkade verksamheter inom sektorerna energiförsörjning och kommunalteknisk försörjning. Beräknat vattendjup >0,4 m.**



Figur 18. **Påverkade verksamheter inom sektorerna energiförsörjning och kommunalteknisk försörjning. Beräknat vattendjup >0,5 m.**



Figur 19. **Påverkade verksamheter inom sektorerna energiförsörjning och kommunalteknisk försörjning. Beräknat vattendjup >1,0 m.**

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 www.msb.se
Publ.nr MSB694 - maj 2014 ISBN 978-91-7383-446-9