



UPPSALA  
UNIVERSITET

UPTEC W 15018

Examensarbete 30 hp  
Juni 2015

# Skyfall över Västerås

- en konsekvensstudie

---

Sol Wallinder



## REFERAT

### Skyfall över Västerås – en konsekvensstudie

*Sol Wallinder*

Skyfall kan leda till stora konsekvenser för samhället, framförallt i en stad då den urbana miljön är känslig för extrema händelser. Västerås stad har tidigare drabbats av skyfall där följderna har varit kostsamma. Den senaste forskningen pekar på att intensiva regnhändelser kommer bli allt mer vanligt förekommande, därför är det intressant att undersöka vilka konsekvenser dessa regn kan leda till.

En analys har gjorts med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering över Västerås. Utifrån denna kartering undersöktes vilka förorenade områden, bostadsområden, exploateringsområden, infrastruktur, vårdcentraler, skolor, nätstationer och prioriterade pumpar som ligger i lågpunktsområden. Denna jämförelse har gjorts i ArcGIS. Där konstaterades att många viktiga objekt ligger i låga områden och då riskerar att översvämmas. Det gäller främst sjukhusområdet, mindre bostadsområden, cykelunderfarter och nätstationer.

Resultaten från jämförelsen med lågpunktskarteringen låg därefter som grund för val av vidare studie där en fördjupad konsekvensstudie har gjorts över sjukhusområdet då detta är en samhällsviktig funktion som tidigare har översvämmats vid skyfall. En hydraulisk modell har byggts upp i programmet MIKE 21 Flow Model där ett regn med återkomsttiden 100 år har simulerats och dess konsekvenser över sjukhusets avrinningsområde har undersökts. Simuleringen visar att stora ytor vid främst sjukhusområdet och i bostadsområden med tät bebyggelse översvämmas. Stora vattendjup ansamlas bland annat vid sjukhusets akutingång och längs E 18 vid Korsängsmotet och Folkparksmotet.

Känslighetsanalyser har även utförts i MIKE 21 Flow Model för att undersöka bland annat hur olika stora regn påverkar resultaten samt hur känslig resultaten är för val av Mannings tal (M). Resultaten visar att intensivare regn medför framförallt en större översvämmad yta och att ett konstant värde på  $M = 40$  hade varit en rimlig förenkling för detta område.

En kontroll har utförts där skyfallet som föll över Västerås 8 juli 2012 har simulerats i MIKE 21 Flow Model. Resultaten från de hydrauliska simuleringarna har även jämförts med SMHI:s lågpunktskartering där det konstaterades att många lågpunkter inte översvämmas, men samtidigt att flera områden som inte är lågpunktsområden översvämmas vid simulerade skyfall.

**Nyckelord:** Skyfall, MIKE 21 Flow Model, Mannings tal, regnintensitet, lågpunktskartering

*Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala Universitet  
Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala  
ISSN 1401-5765*

## **ABSTRACT**

### **Heavy rainfall events in Västerås – a study of its consequences**

*Sol Wallinder*

Heavy rainfall can lead to large consequences for society, especially in a city since the urban environment is sensitive to extreme events. Västerås has earlier suffered heavy rains and according to the latest research, more intense future rainfall is to be expected. It's therefore interesting to examine the possible implications of these rains.

SMHI has produced a map of low areas in the city of Västerås. Based on this mapping, this study evaluated the occurrence of contaminated areas, residential areas, development areas, infrastructure, health centers, schools, power stations and prioritized pumps in low areas. This comparison has been made in ArcGIS. It could be established that many important objects are located in low areas and therefore have a risk of being flooded by heavy rain showers. This primarily concerns the hospital, smaller residential areas, underpasses and power stations.

The results from the comparison with low areas were used as background information when the hospital was chosen for further studies. The hospital is an important public function that has previously been flooded by heavy rain showers. By using the program MIKE 21 Flow Model, a hydraulic model has been set up where a rain with a return period of 100 years has been simulated and its consequences on the catchment area has been explored. The simulation shows that large flooded areas will occur around the hospital and in residential areas. A large water depth is predicted to occur at the hospital's emergency entrance and along E 18 at Korsängsmotet and Folkparksmotet.

Sensitivity analyses were also performed in the MIKE 21 Flow Model to investigate how different kinds of rain affect the results, and how sensitive the results are to the choice of Manning's M values. From the results it can be seen that intense rainfall means primarily a greater flooded surface and that a constant value of  $M = 40$  had been a reasonable simplification for the simulated area.

A simulation has been performed in MIKE 21 Flow Model with the heavy rain shower that fell over Västerås July 8, 2012. A comparison has also been made between the results from the hydraulic simulations and the mapping of low areas made by SMHI. It was found that many of the lower areas were not flooded, but also that several areas that were not found as low areas were flooded in simulated rainfalls.

**Key words:** Rain showers, MIKE 21 Flow Model, Manning's M, rain intensity

*Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Sciences,  
Uppsala University*

*Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala, Sweden*

*ISSN 1401-5765*



## FÖRORD

Denna rapport är ett resultat från det avslutande examensarbete på civilingenjörsprogrammet inom miljö- och vattenteknik vid Uppsala Universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet. Examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng och har genomförts under våren 2015 på WSP Vattenbyggnad i Stockholm på uppdrag av Västerås Stad. Anna Risberg på WSP har varit handledare och Roger Herbert på Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära vid Uppsala Universitet har varit ämnesgranskare.

Till att börja med skulle jag vilja rikta ett stort tack till min handledare Anna Risberg för bra vägledning under projektets gång och för att du tagit dig tid att diskutera alla mina frågor. Jag vill även rikta ett varmt tack till alla andra på enheten Vattenbyggnad på WSP som tagit sig tid att hjälpa mig med projektet. Tack till Kristoffer Hallberg, hydrolog på SMHI, för information om lågpunktskarteringen samt för alla bra tips och tankvärda synpunkter till min rapport. Tack till Mälarenergi, IPCC och SMHI för tillstånd att använda vissa figurer i denna rapport.

Jag vill även rikta ett stort tack till Johan Ahlström, Håkan Svärd och Helena Felldin på Stadsledningskontoret och Fastighetskontoret i Västerås stad, samt till Birger Wallsten, Lena Höglund, Maria Nore och Carina Paulsson på Mälarenergi för hjälp med mycket bakgrundsdata i detta examensarbete. Tack även för alla bra och snabba svar jag fått från er under projektets gång. Tack även till Kent Parnfelt på Landstinget för all hjälp med information om Västmanlands sjukhus i Västerås och till Måns Enander på Länsstyrelsen i Västmanlands län för bra diskussioner.

Uppsala 2015-06-17



Sol Wallinder

# POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

## Skyfall över Västerås – en konsekvensstudie

*Sol Wallinder*

Den senaste forskningen visar att dagens klimat kommer förändras inom den närmaste framtiden. Från framtidsscenarier över klimatet år 2100 ses att nederbörden kommer bli både kraftigare, i form av fler skyfall, och mer frekvent återkommande mot århundradets slut. Då skyfall kan leda till svåra konsekvenser är det relevant att undersöka påverkan från dessa intensiva regn vidare. Dock är det svårt att förutse när och var skyfall kommer ske då de ofta sker över liten yta och under kort tid. Västerås stad har tidigare drabbats av skyfall där stora områden har översvämmats med höga kostnader för samhället som följd.

För att motverka att samhället drabbas allt för hårt vid kraftig nederbörd kan möjliga konsekvenser utredas, vilka därefter kan användas som grund för var förebyggande åtgärder behövs. Ett sätt att utreda dessa möjliga konsekvenser är att kartlägga lågpunktsområden i terrängen där vatten kan ansamlas. Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) har nyligen utfört en sådan kartering över Västerås. I detta examensarbete har lågpunktskarteringen jämförts med samhällsviktiga verksamheter, förorenade områden, infrastruktur samt planerad och befintlig bebyggelse i syfte att utreda vilka objekt som ligger i riskområden. Vid jämförelsen framgick att många av de undersökta objekten ligger i låga områden och då riskerar att översvämmas vid ett skyfall. Det gäller främst sjukhusområdet, mindre bostadsområden, cykel- och bilunderfarter samt nätstationer. Lågpunktskarteringen ger en första indikation på vilka områden som behöver undersökas vidare för att se om vatten faktiskt ansamlas i dessa låga områden. För vidare studier valdes sjukhusområdet med omnejd då det ligger i ett stort lågt område och har tidigare översvämmats vid skyfall, dessutom är det en viktig samhällsfunktion.

För att studera hur vattnet faktiskt rinner på markytan har en hydraulisk modell, MIKE 21 Flow Model, använts. Jämfört med lågpunktskarteringen tar MIKE 21 hänsyn till hur vattnet faktiskt flödar, hur stort regnet är och vilken typ av mark det är (exempelvis asfalterat eller gräs) när modellen beräknar om områden översvämmas eller inte. Olika indata har skapats till modellen, så som sjukhusområdets terräng där markens höjd och lutning finns, vilken typ av mark området består av samt vilket slags regn som faller över området. För att få med allt vatten som kan rinna till sjukhusområdet har hela sjukhusets avrinningsområde tagits med i simuleringen. Det regn som har simulerats har en återkomsttid på 100 år, vilket innebär att ett regn med den storleken statistiskt sett inträffar i genomsnitt en gång vart 100:e år. Resultaten visar att stora områden vid bland annat sjukhuset och i bostadsområdena Östra Malmaberg, Hemdal, Skiljebo och Haga översvämmas vid detta regn. På flera ställen kan stora vattendjup ansamlas, det är främst vid sjukhusets akutingång, vid Korsängsmotet och Folkparksmotet på E 18 samt vid flera cykelunderfarter.

Känslighetsanalyser har utförts i MIKE 21 för att undersöka hur känslig modellen är för olika indata. Olika stora regn har simulerats för att undersöka skillnader i översvänningsutbredning och vattendjup. Simuleringar med regn med återkomsttiden 200 respektive 1000 år visar att vattendjupen ökar lite vid större regn, men framförallt ökar den översvämmade ytan. Störst skillnad ses i centrum, ner mot hamnen, där regnet med återkomsttiden 1000 år ger en betydligt större översvänningsutbredning. Troligen bidrar den täta bebyggelsen till att mycket av det simulerade vattnet stannar kvar på ytan i detta område. Även hur markens struktur påverkar vattnets avrinning på markytan har undersökts. En slätare markyta, exempelvis ett tak eller en asfalterad yta, gör att vattnet rinner av ytan fortare medan en grövre yta, exempelvis en gräsyta, stoppar upp vattnet. Vid fler asfalterade ytor i det undersökta området visar simuleringarna att vattendjupen i de översvämmade områdena ökar, detta på grund av att mer vatten hinner rinna till djupa lågpunkter. Om det istället skulle finnas fler grönområden än idag kommer större ytor att översvämmas då vattnet inte hinner rinna till lågpunkter utan ansamlas på den närmaste markytan. Ytterligare en känslighetsanalys har gjorts över hur skillnader i terrängen påverkar resultaten. Det gäller då hur resultaten varierar beroende på om byggnaderna tas med eller inte i simuleringarna.

En simulering har även gjorts med det regn som föll över Västerås 8 juli 2012 för att undersöka om samma områden översvämmas enligt simuleringarna som översvämmades i verkligheten. Resultaten visade att det var svårt att få en rimlig jämförelse då det är oklart exakt vilka ytor som översvämmades 2012 och då regnvattnet kan ha transporterats i ledningsnätet istället för på markytan.

Slutligen har de olika metoderna och resultaten från SMHI:s lågpunktskartering och från simuleringarna i MIKE 21 jämförts. Där konstaterades att det är många lågpunktsområden som inte översvämmas, men även att vissa områden som inte är lågpunkter översvämmas. Det är därför relevant att, förutom att kartlägga låga områden i terrängen, även undersöka hur vattnet faktiskt kan flöda på markytan. På så sätt fås en bättre bild över var åtgärder skulle behöva sättas in som kan förhindra stora konsekvenser från framtida skyfall.

## DEFINITIONER I RAPPORTEN

**Avrinningskoefficient** – anger hur stor del av nederbörden som rinner av på ytan istället för att exempelvis avdunsta eller infiltrera

**Avrinningsområde** – det område som bidrar med vatten till en viss punkt

**Grid** – ett rutnät som vissa modeller och filer, exempelvis terrängmodellen, är uppbyggda i där informationen i modellen redovisas i rutformat där varje ruta har en viss bredd och höjd

**GSD 2+** – höjddata i gridformat med upplösningen 2 m över Sveriges terräng, framställt från Lantmäteriets laserskanning. Kallas även för GSD-Höjddata, grid 2+

**Hydraulisk modell** – en modell där olika beräkningar kan göras av bland annat hur vattnet rör sig och ansamlas i terrängen

**Klimatfaktor** – en faktor som multipliceras med dagens värden på exempelvis regnets intensitet för att ta hänsyn till framtida värden som ett förändrat klimat kan leda till

**Lågpunktskartering** – kartläggning av lågpunkter i terrängen

**Mannings tal (M)** – ett mått på ytans råhet, det vill säga dess struktur och grovkornighet, som kan påverka flödes hastigheten

**Regnintensitet** – den regnvolym som faller under viss tid över ett visst område

**Rinntid** – den maximala tiden (min) det tar för regnet i ett avrinningsområde att rinna till en viss punkt

**Terrängmodell** – en höjdmodell som beskriver markytans variationer

**Återkomsttid** – den tid mellan två händelser som enligt historiska mätningar statistiskt sett har haft ett visst tidsintervall, exempelvis tiden mellan två olika regn som har samma storlek

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUKTION .....</b>                                                      | <b>1</b>  |
| 1.1. SYFTE .....                                                                  | 2         |
| 1.2. AVGRÄNSNINGAR.....                                                           | 2         |
| <b>2. BAKGRUND .....</b>                                                          | <b>3</b>  |
| 2.1. BESKRIVNING AV OMRÅDET.....                                                  | 3         |
| 2.2. ETT FÖRÄNDRAT KLIMAT .....                                                   | 4         |
| 2.2.1. Dagens globala situation.....                                              | 4         |
| 2.2.2. Klimatförändringar globalt .....                                           | 5         |
| 2.2.3. Dagens situation i Sverige och i Västerås .....                            | 6         |
| 2.2.4. Klimatförändringar på lokal nivå .....                                     | 7         |
| 2.3. SKYFALL OCH DESS HISTORIA .....                                              | 8         |
| 2.3.1. Återkomsttid för skyfall.....                                              | 8         |
| 2.3.2. Skyfall lokalt .....                                                       | 9         |
| 2.3.3. Konsekvenser av skyfall .....                                              | 11        |
| 2.3.4. Skyfall i framtiden .....                                                  | 12        |
| <b>3. METODER OCH MATERIAL .....</b>                                              | <b>14</b> |
| 3.1. ÖVERSIKTLIG KARTERING I ArcGIS .....                                         | 14        |
| 3.1.1. SMHI:s lågpunktskartering över Västmanlands län.....                       | 14        |
| 3.1.2. Övrigt underlag till översiktlig kartering.....                            | 16        |
| 3.1.3. Avgränsningar i karteringen .....                                          | 16        |
| 3.1.4. Utförande av översiktlig kartering.....                                    | 16        |
| 3.1.5. Val av område för vidare detaljstudier utifrån översiktlig kartering ..... | 17        |
| 3.2. HYDRAULISK MODELLERING ÖVER SJUKHUSOMRÅDET MED MIKE 21 .....                 | 18        |
| 3.2.1. Val av hydraulisk modell.....                                              | 18        |
| 3.2.2. Hydraulisk modellering med MIKE 21 .....                                   | 18        |
| 3.2.3. Avgränsningar i modellen .....                                             | 19        |
| 3.2.4. Simulering av skyfall över sjukhusområdet med MIKE 21 .....                | 20        |
| 3.2.5. Terrängmodellens uppbyggnad .....                                          | 20        |
| 3.2.6. Klassning av markytan .....                                                | 21        |
| 3.2.7. Regnintensitet .....                                                       | 23        |
| 3.2.8. Mannings tal .....                                                         | 25        |

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.9. Simuleringstid.....                                                     | 26        |
| 3.2.10. Känslighetsanalys av parametrar .....                                  | 26        |
| 3.2.11. Kontroll av modellen med uppmätt regn från skyfallet 8 juli 2012 ..... | 28        |
| 3.2.12. Jämförelse med SMHI:s lågpunktskartering .....                         | 29        |
| <b>4. RESULTAT.....</b>                                                        | <b>29</b> |
| 4.1. ÖVERSIKTLIG KARTERING AV VÄSTERÅS TÄTORT .....                            | 29        |
| 4.2. SJUKHUSOMRÅDET .....                                                      | 36        |
| 4.2.1. Resultat från MIKE 21 .....                                             | 36        |
| 4.2.2. Parametrarnas betydelse .....                                           | 41        |
| 4.2.3. Jämförelse med skyfallet 8 juli 2012.....                               | 49        |
| 4.3. JÄMFÖRELSE MELLAN LÅGPUNKTSKARTERINGEN OCH MIKE 21 ...                    | 49        |
| <b>5. DISKUSSION .....</b>                                                     | <b>52</b> |
| 5.1 ÖVERSIKTLIG KARTERING.....                                                 | 52        |
| 5.1.1. Analys av SMHI:s lågpunktskartering .....                               | 52        |
| 5.1.2. Diskussion kring resultaten från den översiktliga karteringen .....     | 53        |
| 5.2. SIMULERINGAR MED MIKE 21 FLOW MODEL .....                                 | 54        |
| 5.2.1. Terrängmodellen.....                                                    | 54        |
| 5.2.2. Klassning av markytan .....                                             | 55        |
| 5.2.3. Regnintensitet i modellen .....                                         | 55        |
| 5.2.4. Mannings tal .....                                                      | 56        |
| 5.2.5. Simuleringstid.....                                                     | 56        |
| 5.2.6. Diskussion kring resultaten från ursprunglig simulering .....           | 57        |
| 5.2.7. Diskussion kring resultaten från varierande Mannings tal (M).....       | 58        |
| 5.2.8. Regnintensitetens betydelse för resultatet .....                        | 61        |
| 5.2.9. Terrängens betydelse för resultatet.....                                | 63        |
| 5.2.10. Resultat från jämförelsen med skyfallet 8 juli 2012.....               | 63        |
| 5.3. SMHI:s LÅGPUNKTSKARTERING JÄMFÖRT MED MIKE 21 FLOW<br>MODEL .....         | 64        |
| 5.3.1. Jämförelse av resultaten från respektive metod.....                     | 64        |
| 5.3.2. Val av analysmetod vid skyfallskartering .....                          | 65        |
| 5.4. FRAMTIDEN FÖR VÄSTERÅS .....                                              | 65        |
| <b>6. SLUTSATSER .....</b>                                                     | <b>66</b> |
| <b>REFERENSER .....</b>                                                        | <b>68</b> |
| <b>BILAGOR .....</b>                                                           | <b>72</b> |

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| BILAGA 1. FRAMTIDA NEDERBÖRD I SVERIGE ENLIGT IPCC:S<br>KLIMATSCENARIER .....                  | 72 |
| BILAGA 2. BOSTADSOMRÅDEN I LÅGPUNKTSOMRÅDEN .....                                              | 74 |
| BILAGA 3. VÄGOMRÅDEN I LÅGPUNKTSOMRÅDEN.....                                                   | 77 |
| BILAGA 4. SKOLOR, SJUKHUS OCH VÅRDCENTRALER I<br>LÅGPUNKTSOMRÅDEN .....                        | 85 |
| BILAGA 5. FÖRORENADE OMRÅDEN I LÅGPUNKTSOMRÅDEN.....                                           | 87 |
| BILAGA 6. NÄTSTATIONER OCH PRIORITERADE PUMPSTATIONER I<br>LÅGPUNKTSOMRÅDEN .....              | 89 |
| BILAGA 7. ÖVERSVÄMNING VID OLIKA SIMULERADE REGN I MIKE 21.                                    | 91 |
| BILAGA 8. ÖVERSVÄMNINGSDJUP VID JÄMFÖRELSE MED SKYFALLET 8<br>JULI 2012 .....                  | 96 |
| BILAGA 9. SMHI:S LÅGPUNKTSKARTERING JÄMFÖRT MED OLIKA<br>STORA SIMULERADE REGN I MIKE 21 ..... | 98 |

## 1. INTRODUKTION

Klimatet i världen håller på att förändras. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) slår fast att förändringarna till största delen beror på antropogena utsläpp av växthusgaser (IPCC, 2013). Dessa gaser ändrar atmosfärens sammansättning, vilket bidrar till att värma upp atmosfären och på så sätt påverka det globala klimatsystemet. Trots en strängare klimatpolitik med mer begränsade utsläpp fortsätter halterna av växthusgaser i atmosfären att öka. Detta, i kombination med att det finns en viss fördröjande effekt i klimatsystemet, gör att klimatet troligen kommer fortsätta att värmas upp även i framtiden med fler extrema väderhändelser som följd. Exempel på detta är att skyfall kommer att bli mer intensiva och mer frekvent förekommande i framtiden (IPCC, 2013). Skyfall innebär att stora nederbördsmängder kommer på kort tid. Enligt SMHI:s (2014e) definition innebär det minst 1 mm på 1 minut eller minst 50 mm regn under 1 timme. Skyfall förekommer oftast under sommaren och kan redan idag leda till kraftiga översvämningar med stora konsekvenser som följd (Persson m.fl., 2012).

I urbana miljöer med många hårdgjorda ytor rinner vattnet med en högre hastighet och mer vatten kan ansamlas på grund av en låg infiltrationsförmåga. Ofta är ledningssystemet inte dimensionerat för att leda bort dessa extrema flöden, vilket gör att marken översvämmas istället. Då det finns bland annat känslig infrastruktur, många bostadshus och olika samhällsviktiga funktioner i urbana miljöer, kan konsekvenserna av ett skyfall bli extra kostsamma här. Försäkringsbolagen bekräftar detta genom att redovisa vilka höga kostnader som ett skyfall kan leda till. Enligt Henriksson (2015) på Folksam kostar naturrelaterade skador idag uppemot 1,6 miljarder kronor per år för de svenska försäkringsbolagen. Då skyfall även kan innebära en risk för människors liv och hälsa är en anpassning till ett framtida klimat därför nödvändig. Det finns stor osäkerhet i klimatprognoserna, dock är det en viktig fråga för framtida klimatpolitik och samhällsplanering. Ett verktyg för att uppskatta kommande klimatförändringar är de framtidsscenario som IPCC har tagit fram. De framtida nederbördsmängderna som fås från dessa scenarion kan användas som indata till fördjupade simuleringar. Genom att simulera en framtida regnvolym som faller över en yta, kan en analys göras över var vattnet rinner och kan ansamlas. Om vi i förväg vet vilka ytor som riskerar att översvämmas kan förebyggande åtgärder göras för att undvika eller minimera konsekvenserna från skyfall. Även beredskapsplaner kan ha stor nytta av denna information.

En förenklad analys över var vattnet kan ansamlas är att göra en kartering över vilka lågpunkter som finns i ett visst område (Mårtensson och Gustafsson, 2014). Länsstyrelsen i Västmanlands län har beställt en sådan kartering av Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI). Karteringen sammanställdes under våren 2015 och täcker alla länets tätorter. Tanken är att lågpunktskarteringen ska vara en grund för fortsatt klimatanpassningsarbete på respektive ort (Enander, 2015). Denna studie utgår från SMHI:s kartering för att därefter utföra fördjupade hydrauliska



analyser i ett specifikt område som är särskilt utsatt. En hydraulisk modell har byggts upp för detta område för att kunna undersöka hur stora konsekvenserna blir från bland annat olika framtida regnscenarier. I denna fördjupning har även olika modellparametrars betydelse för resultatet undersökts.

Studien är förlagd till Västerås Stad och är en del av kommunens arbete för klimatanpassning. I Klimat- och sårbarhetsutredningen från 2007 förklarades vilken viktig roll kommunerna har i det direkta arbetet för ett klimatanpassat samhälle då de ansvarar för bland annat samhällsplanering samt beredskap och räddningstjänst (SMHI, 2015). Dock uppger endast 3 % av landets kommuner att de i hög utsträckning har gjort anpassningar för att undvika översvämningsskador från skyfall och höga vattenflöden (Folksam, 2015). Till hjälp för klimatarbetet i Västerås kommun finns bland annat en länsövergripande klimatstrategi där en viktig indelning av klimatarbetet görs: en del för att begränsa klimatpåverkan och en annan del för att anpassa sig till ett förändrat klimat (Nurkkala m.fl., 2013). Då klimatet med stor sannolikhet kommer fortsätta att förändras är denna anpassning nödvändig. I Västerås översiktsplan (antagen 2012) diskuteras vilka konsekvenser som klimatförändringarna kan ha för kommunen och vikten av att göra vidare studier på bland annat riskerna från översvämningar vid skyfall (Johansson m.fl., 2012). Potentiella risker som skyfall kan leda till för Västerås finns omnämnda i kommunens Risk- och sårbarhetsanalys, där även vissa åtgärdsförslag diskuteras (Västerås Stads stadsledningskontor, 2012). Där konstateras även att skyfall är en av de risker som kommunen bör fokusera på. Klimatfrågor är med andra ord redan nu en integrerad del av kommunens arbete, vilket troligen bidragit till att Västerås i år var med som finalist i Världsnaturfondens ”Earth Hour City Challenge” när Sveriges klimatstad 2015 utsågs (von Zeipel, 2015). Mycket arbete återstår dock innan samhället är bättre anpassat för ett framtida klimat.

### **1.1. SYFTE**

Detta examensarbete syftar till att ge en överblick över vilka konsekvenser ett skyfall kan få för Västerås tätort. Detta görs genom att översiktligt kartlägga vilka låga områden i tätorten som sammanfaller med viktiga verksamheter. Det är främst förorenade områden, samhällsviktiga verksamheter, transportvägar samt planerad och befintlig bebyggelse som studeras tillsammans med potentiellt översvämningsdrabbade områden. Examensarbetet syftar även till att ge en fördjupad inblick i hur ett mindre område kan drabbas av ett skyfall. Det mindre området som har valts ut är området kring Västerås sjukhus. Dessutom är syftet med examensarbetet att göra olika känslighetsanalyser för tvådimensionella hydrauliska beräkningar samt att jämföra lågpunktskartering med tvådimensionell hydraulisk beräkning av markavrinningen.

### **1.2. AVGRÄNSNINGAR**

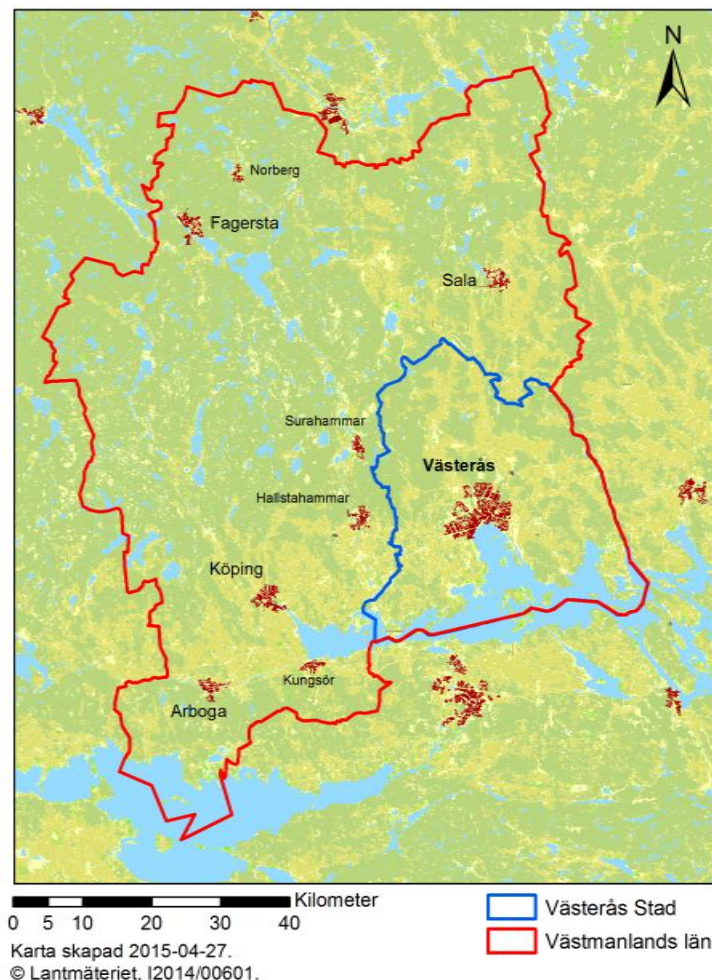
En geografisk avgränsning har gjorts där endast tätorten i Västerås Stad undersöks då lågpunktskarteringen endast täcker tätorten. I den detaljerade studien för området kring Västerås sjukhus har ett mindre avrinningsområde valts. Dagvattenssystemet har inte modellerats, istället har ett schablonavdrag gjorts för denna vattenvolym. Det är endast markavrinningen som är simulerad. De höjddata som används är det som finns

tillgängligt från Lantmäteriet, vilket har en upplösning på 2 x 2 m. De byggnader och vägar som finns i modellen är de som fanns tillgängliga från Lantmäteriets senaste fastighetskarta från 2013. Det regn som används som standardregn i simuleringarna har en storlek som motsvarar återkomsttiden 100 år i ett framtida klimat. Det är endast översvämningsrisker från skyfall som undersöks.

## 2. BAKGRUND

### 2.1. BESKRIVNING AV OMRÅDET

Västmanlands län ligger i Svealand och är ett av Sveriges mindre län. Topografin är varierande med högt landskap i nordväst och mer låglänta områden i söder längs Mälarens kust (Persson m.fl., 2012). Det varierande landskapet i länet återspeglas av att gränsen mellan norrlandsterrängen och det sydsvenska låglandet går tvärs igenom länet. Länets största kommun är Västerås Stad och själva tätorten Västerås är länets residensstad med en befolkning på ungefär 140 000 invånare år 2010 (Andersson, 2014; SCB, 2014). Genom kommunen, och Västerås tätort, rinner Svartån som mynnar ut i Mälaren i kommunens södra del. Genom Västerås går flera viktiga transportleder som E18 och Mälarbanan. En karta över länet med Västerås Stad utmarkerad ses i figur 1.



**Figur 1.** Västmanlands län med Västerås Stad utmarkerad.

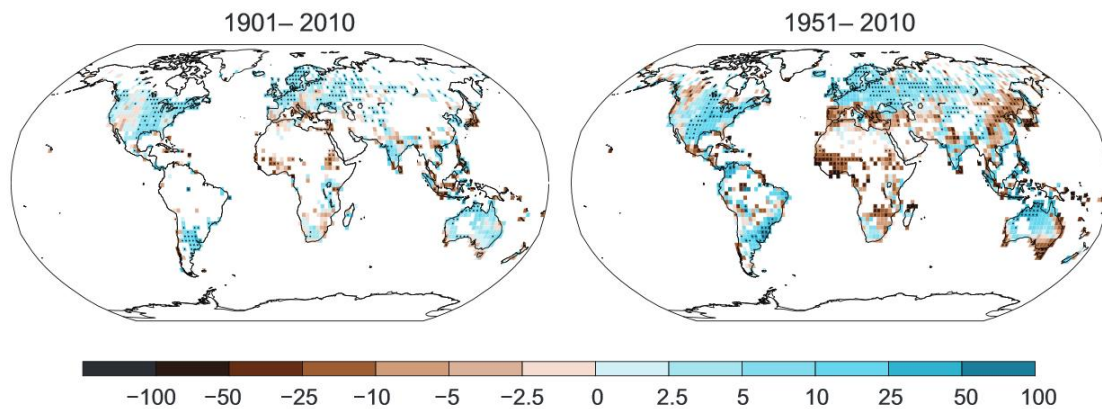
## **2.2. ETT FÖRÄNDRAT KLIMAT**

Dagens och framtidens klimat är ett väldiskuterat område där mycket kunskap hämtas från organisationen Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC startades av FN:s miljöorgan (UNEP) samt av Världsmeteorologiska Organisationen (WMO) med syftet att ge världen ett tydligt vetenskapligt perspektiv över den senaste forskningen kring klimatförändringar och dess konsekvenser (IPCC, 2013). Den senaste kunskapen finns samlad i rapporten Assessment Report 5 (AR5), vilken publicerades 2013 och 2014. Där konstaterades att människor tydligt påverkar klimatsystemet. Den tidsperiod som IPCC vanligtvis har som referensperiod är förindustriell tid, vilken här är definierad till år 1750. Enligt WMO ska olika jämförande klimatuppgifter komma från samma tidsperiod, vilket normalt är en period på 30 år. I Sverige är denna period för närvarande 1961-1990, vilken även kallas för normalperioden (SMHI, 2014a).

### **2.2.1. Dagens globala situation**

Enligt mätningar ökar halterna av växthusgaser i atmosfären med tiden, vilket till största delen beror på antropogena källor (IPCC, 2013). Växthusgaserna ändrar atmosfärens sammansättning och bidrar då till att förstärka ”växthuseffekten”. Denna effekt påverkar balansen mellan solinstrålning och den utgående värmestrålningen vilket gör att en del av energin som skulle försvinna från jorden absorberas och återstrålas istället av växthusgaserna och på så sätt värmer upp klimatsystemet (Rummukainen, 2005). Skillnaden mellan den inkommande solstrålningen och den utgående värmestrålningen kallas för nettostrålning. Då klimatsystemet strävar efter att återställa strålningsbalansen resulterar det i förändringar i klimatet.

Enligt IPCC (2013) har den globala medeltemperaturen i genomsnitt ökat med 0,85°C från år 1880 till 2012, där de tre senaste decennierna har varit de varmaste. IPCC bedömer exempelvis att det är *ytterst sannolikt* (> 95 % sannolikhet) att den antropogena påverkan på temperaturen (inräknat ökningen av växthusgashalter i atmosfären) står för minst 50 % av temperaturökningen mellan åren 1951-2010. Då en varmare atmosfär kan innehålla mer vattenånga, ökar sannolikheten för att nederbörden blir kraftigare (Olsson och Foster, 2013). På norra halvklotet är värmeökningen mest markant och det är även där som nederbörden över land har blivit mer frekvent med åren, se figur 2. Även fler antal extrema väderhändelser kopplade till ett varmare klimat har observerats där både antalet och intensiteten av skyfall sannolikt har ökat.

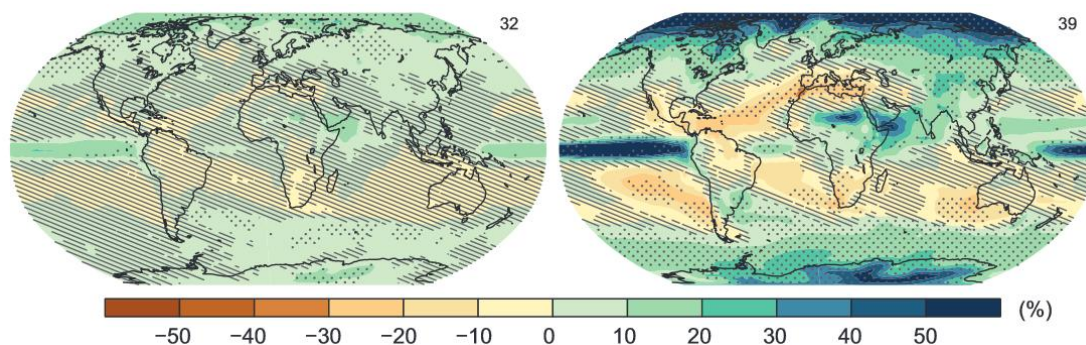


**Figur 2.** Observerad förändring av den globala genomsnittliga nederbörden (mm/år/årtionde) mellan åren 1901-2010 samt 1951-2010 (IPCC, 2013).

### 2.2.2. Klimatförändringar globalt

För att simulera framtida globala klimatförändringar används olika detaljerade modeller. IPCC har inför de senaste delrapporterna tagit fram fyra nya scenarier som simulerats i dessa modeller. Scenarierna kallas för Representative Concentration Pathways (RCP) och beskriver olika möjliga framtida klimatpåverkan utifrån antropogena källor (IPCC, 2013). RCP:erna är namngivna efter den strålningsdrivning de använder (Weyant m.fl., 2009). Strålningsdrivning definieras som skillnaden i nettoinstrålningen till jorden och anges i  $\text{W/m}^2$ . Detta är ett mått på hur väl en naturlig eller antropogen faktor kan påverka balansen mellan ingående och utgående strålning och på så sätt påverka klimatet (IPCC, 2008). Exempelvis innebär RCP 2,6 ett scenario där nettoinstrålningen förväntas öka till  $2,6 \text{ W/m}^2$  jämfört med förindustriell tid (Weyant m.fl., 2009). De övriga scenarierna heter RCP 4,5, RCP 6,0 samt RCP 8,5. Dessa scenarier, och då även modellerna, sträcker sig fram till slutet av detta århundrade. Då det kumulativa koldioxidutsläppet fortfarande ökar, antar alla RCP:er att utsläppet är högre år 2100 jämfört med idag. Dock är ökningen större eller mindre beroende på hur koldioxidutsläppen kommer att utvecklas, något som i stor grad styrs av framtida klimatpolitik. I de nya RCP-scenarierna från AR5 tas mer hänsyn till vad politiska beslut kring utsläppsminskning får för konsekvenser, vilket skulle kunna vägleda beslutsfattare när klimatpolitik ska diskuteras (SMHI, 2014b). Enligt SMHI bör dessa scenarier i första hand användas när det framtida klimatet ska studeras (SMHI, 2014c).

De klimatscenarier som IPCC har tagit fram visar att en fortsatt ökning av växthusgashalter i atmosfären kommer bidra till ytterligare förändringar i klimatsystemets alla delar (IPCC, 2013). Temperaturen förväntas öka med minst  $1,5^\circ\text{C}$  fram till år 2100 jämfört med förindustriell tid. Hur mycket temperaturen förväntas öka beror till stor del på den framtida mängden växthusgaser i atmosfären. Med en allt varmare atmosfär i framtiden ökar sannolikheten ytterligare för fler kraftiga nederbördstillfällen. Enligt IPCC (2013) är det mycket sannolikt ( $> 90\%$  sannolikhet) att extrem nederbörd i tempererade landområden kommer bli både vanligare och intensivare närmare år 2100. Generellt förväntas den framtida nederbördsbilden ha större kontraster mellan blöta och torra årstider och även mellan blöta och torra regioner (IPCC, 2013), se figur 3.

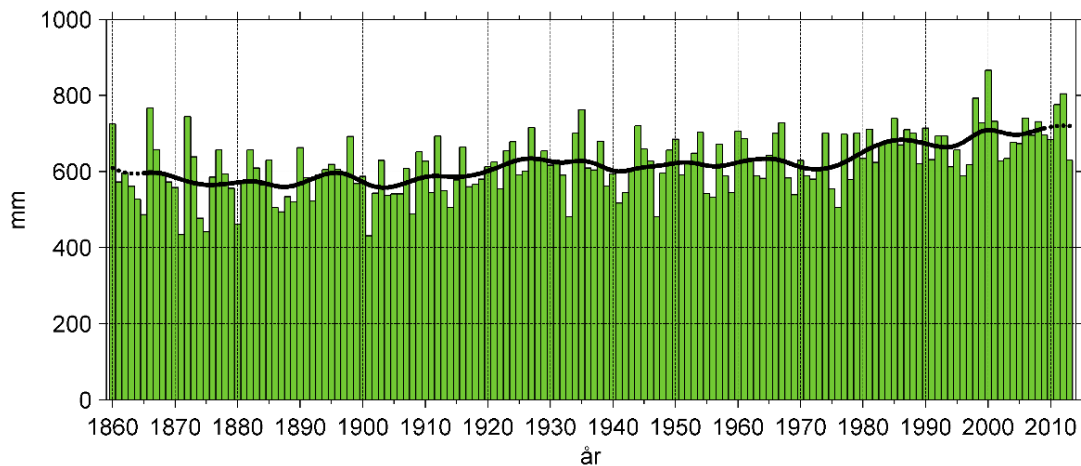


**Figur 3.** Förändring av årsnederbörden (%) från perioden 1986-2005 till perioden 2081-2100. Till vänster simuleras förändringen med scenario RCP 2,6 och till höger med RCP 8,5. Siffrorna i övre högra hörnen visar antal modeller som använts vid beräkningarna (IPCC, 2013).

### 2.2.3. Dagens situation i Sverige och i Västerås

Klimatförändringar är något som även märks på lokal nivå. I Sverige är klimatfrågor en integrerad del av politiken och det arbetas aktivt med att sänka utsläppen av växthusgaser. Detta har bland annat resulterat i minskade nationella utsläpp under de senaste 15 åren (Naturvårdsverket, 2014). Dock fortsätter utsläppen att öka globalt, vilket påverkar både det globala och lokala klimatet.

Variationerna av den nationella årsmedeltemperaturen följer till stor del den globala trenden med ökande temperatur under den senaste perioden. Då Västmanlands län har en varierande topografi och många olika marktyper, kan klimatet variera mycket inom länet (Persson m.fl., 2012). Exempelvis är temperaturen lägre längre norrut och högre i länets låglänta delar närmare Mälaren. Den varierande topografin i Västmanland påverkar även nederbörden där mer regn förekommer i de högre delarna av länet än i de låglänta partierna vid Mälaren. Mängden nederbörd varierar även under året där mest regn förekommer under sommaren. Med tiden har det dock dokumenterats en viss omfördelning av den totala nederbörds mängden. Under de senaste 15 åren har den totala årsnederbördsvolymen ökat med 7 % i Sverige (Svenskt Vatten, 2011). Samtidigt har mängden nederbörd sommartid minskat, vilket innebär ökad nederbörd under resterande året. Trots den minskade totala nederbörds mängden under sommaren har det dock blivit vanligare med kraftigt regn. I figur 4 ses den uppmätta årsmedelnederbörden för hela Sverige under perioden 1860-2013. Årsmedelnederbörden i Västerås under normalperioden 1961-1990 var 602 mm (SMHI, 2014a).

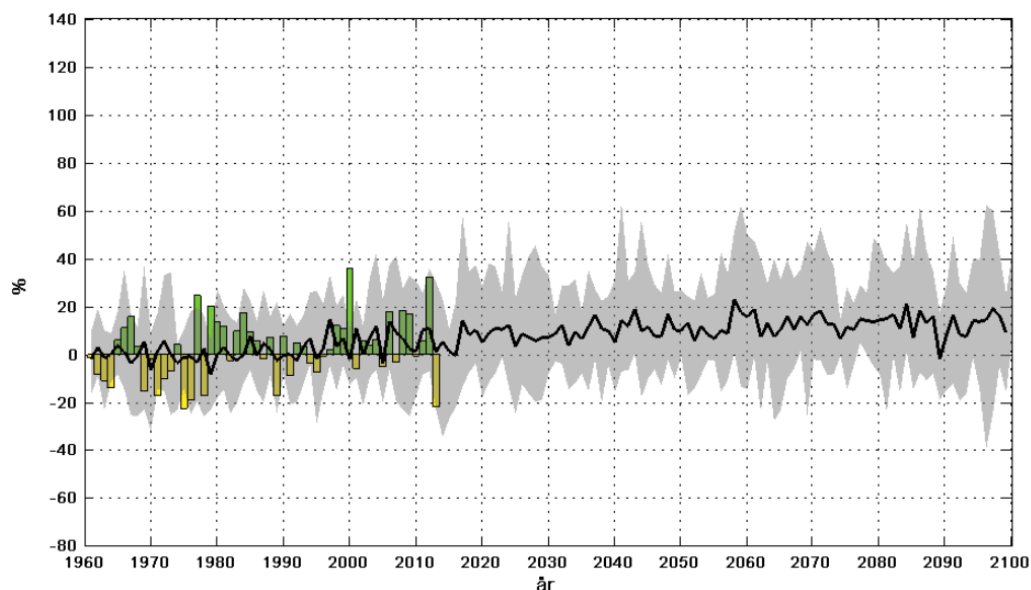


**Figur 4.** Årsmedelnederbörden (mm) i Sverige under perioden 1860-2013 baserat på mätningar från 87 stationer. Den svarta kurvan representerar medelvärdet för varje 10-årsperiod (SMHI, 2014d).

#### 2.2.4. Klimatförändringar på lokal nivå

Trenden med ett framtida varmare klimat, och då med mer vattenånga som följd i atmosfären, kommer även gälla för Västmanlands län. De regionala variationerna med kallare klimat i länets norra delar och varmare vid Mälaren kommer troligen bestå (Nurkkala m.fl., 2013). Hur mycket den framtida temperaturen kommer förändras kommer också variera under kalenderåret med generellt störst temperaturökningen vintertid (SMHI, 2013a). Den framtida nederbördens variation under året kommer också se annorlunda ut i Västmanlands län. Beroende på vilket scenario som analyseras kommer nederbördsmängden under sommaren antingen att vara oförändrad eller minska något närmare år 2100 jämfört för perioden 1961-1990. En ökad nederbördsmängd under vintern kan dock ses i alla scenarier (SMHI, 2013a). Även den uppskattade totala förändringen av årsmedelnederbörden varierar mycket beroende på val av scenario. Exempelvis visar RCP 2,6 en ökning på cirka 5 % och RCP 8,5 cirka 30 % ökning jämfört med normalperiodens genomsnittliga nederbördsmängd. I figur 5 ses den totala årsmedelnederbördens förändring i Västmanlands län med scenario RCP 4,5 för perioden 1961-2100. En sammanställning av SMHI:s (2013a) kartor för övriga nederbördsscenarier i länet finns i bilaga 1.





**Figur 5.** Förändringen av årsnederbörden (%) i Västmanlands län under perioden 1961-2100 jämfört med normalperioden 1961-1990. Staplarna är medelvärden från observationer där de gröna staplarna överstiger den normala nederbörden under normalperioden och de gula har mindre nederbörds mängd än normalt. Den svarta kurvan representerar ett medelvärde från nio olika klimatscenarier för scenario RCP 4,5 och det grå fältet visar variationen för klimatscenerierna (SMHI, 2013a).

### 2.3. SKYFALL OCH DESS HISTORIA

Som tidigare nämnts kommer klimatförändringarna högst troligen att fortsätta eskalera med bland annat fler och mer intensiva nederbördstillfällen som följd. Dessa extrema regnhändelser orsakar redan idag stora problem, framförallt i tätorter där vattnet inte kan infiltrera i marken och där stadsplanering och ledningsnätets storlek påverkar vattnets rörelse och avledning. En annan benämning på dessa extrema regn är skyfall. De flesta skyfall sker sommartid och förekommer ofta lokalt i samband med åkskurar (Persson m.fl., 2012).

#### 2.3.1. Återkomsttid för skyfall

Olika regnhändelser kan delas upp efter hur stor sannolikheten är att de inträffar inom ett visst tidsintervall. Exempelvis kan ett regn med en viss storlek som statistiskt sett bara återkommer en gång vart 100:e år (det vill säga att återkomsttiden är 100 år) även kallas för 100-årsregn. Ett annat exempel är definitionen på skyfall, där minst 50 mm faller under 1 timme, vilket ger en återkomsttid på ungefär 80 år (Mårtensson och Gustafsson, 2014). Statistiken för regnens återkomsttider är baserade på historiska regnhändelser. Volymen i dessa olika regn beror på hur länge regnet varar. För ett regn med återkomsttiden 100 år kan detta exempelvis vara 55 mm på 1 timme (Svenskt Vatten, 2011). Svenskt Vatten (2011) beskriver ett samband mellan regnets intensitet och dess varaktighet som bör användas för svenska förhållanden om egen regnstatistik saknas från korttidsnederbörd. För vidare förklaring av detta samband, se avsnitt 3.2.7.

Det är mindre sannolikt att ett regn med en längre återkomsttid, det vill säga ett mer intensivt regn, förekommer ofta. Hur stor sannolikheten är att en viss regnhändelse

inträffar under olika långa tidsserier kan uppskattas med ekvation 1 (Svenskt Vatten, 2011).

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{\bar{A}}\right)^{Tp} \quad (1)$$

Där  $P$  = sannolikhet (%)

$\bar{A}$  = återkomsttid (år)

$Tp$  = tidsseriens längd (år)

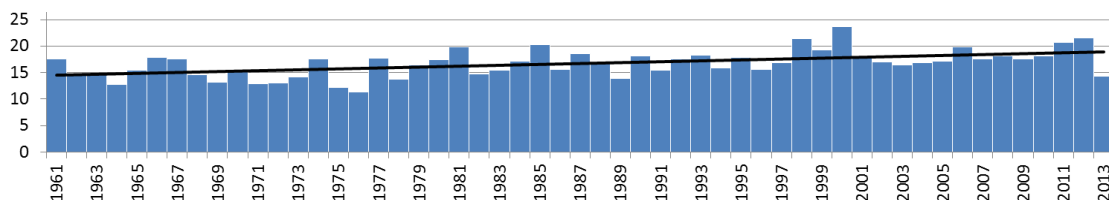
Exempel på sannolikheten för att ett regn med återkomsttiden 10, 30, 100, 200 respektive 1000 år ska inträffa med olika tidsintervall kan ses i tabell 1.

**Tabell 1.** Sannolikheten (%), beräknat utifrån ekvation 1, för att ett regn med viss återkomsttid ska inträffa i genomsnitt minst en gång under en viss tidsperiod.

| Tidsseriens<br>längd (år) | Regnets återkomsttid (år) |      |      |       |       |
|---------------------------|---------------------------|------|------|-------|-------|
|                           | 10                        | 30   | 100  | 200   | 1000  |
| 1                         | 10 %                      | 3 %  | 1 %  | 0,5 % | 0,1 % |
| 2                         | 19 %                      | 7 %  | 2 %  | 1 %   | 0,2 % |
| 5                         | 41 %                      | 16 % | 5 %  | 2 %   | 0,5 % |
| 10                        | 65 %                      | 29 % | 10 % | 5 %   | 1 %   |
| 25                        | 93 %                      | 57 % | 22 % | 12 %  | 2 %   |
| 50                        | 99,5 %                    | 82 % | 39 % | 22 %  | 5 %   |
| 100                       | >99,9 %                   | 97 % | 63 % | 39 %  | 10 %  |

### 2.3.2. Skyfall lokalt

Under de senaste 20 åren har nederbörden i Sverige registrerats var 15:e minut på många stationer. Innan dess skedde registreringen endast en gång varje dygn, vilket gjorde det svårt att uppskatta om ett skyfall hade inträffat eller om regnet var fördelat under hela dygnet (SMHI, 2014e). Skyfall sker också ofta över en mindre yta, vilket gör att de kan missas av regnmätare och därför är svåra att registrera. I figur 6 ses antal uppmätta fall i Sverige med kraftig dygnsnederbörd (minst 10 mm under 24 timmar) för perioden 1961-2013 (SMHI, 2014f). Detta kan ge en fingervisning över eventuella trender i kraftiga nederbörder, där även skyfall finns medräknat.

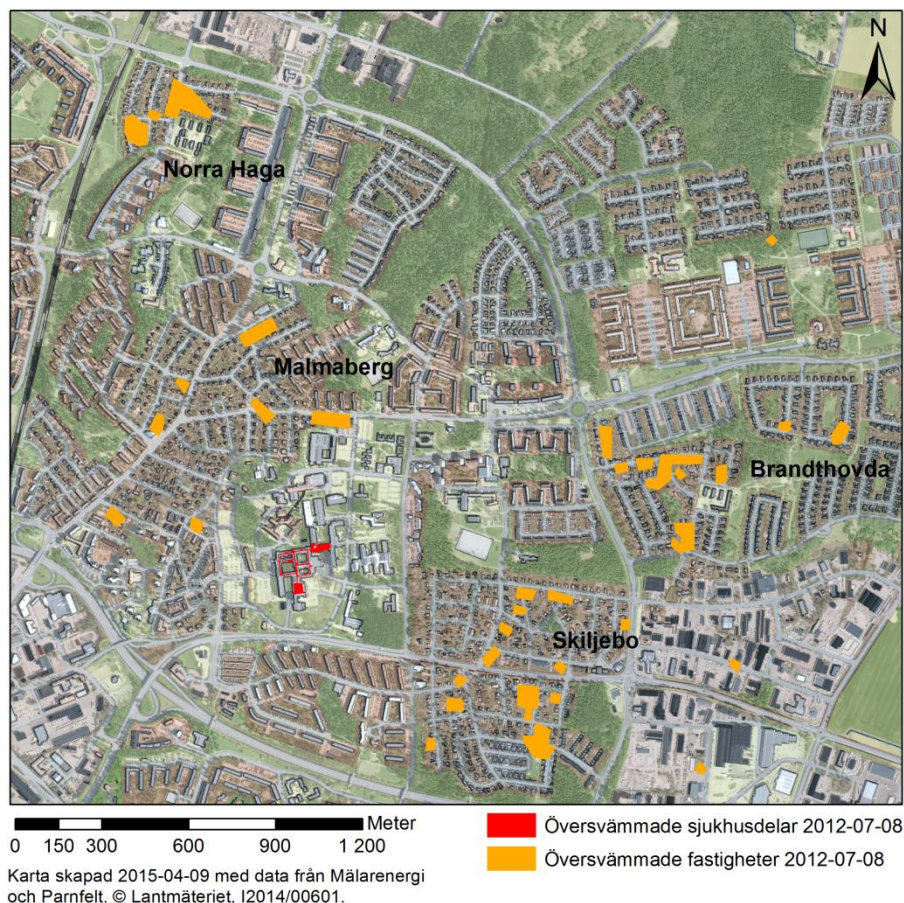


**Figur 6.** Antal uppmätta fall i Sverige varje år med en dygnsnederbörd på minst 10 mm under perioden 1961-2013, modifierad efter SMHI (2014f). Trendlinjen visar en genomsnittlig ökning på 0,51 % varje år.

Västerås har tidigare drabbats av skyfall. Den 8 juli 2012 uppmätte Mälarenergis nederbördsstation vid Grytahögsgatan en vattenvolym på 45,6 mm under totalt 2 timmar där regnets högsta intensitet motsvarade ett regn med en återkomsttid på 32 år (DHI,



2013). Regnet var dock väldigt lokalt och då nederbördsstationen låg i utkanten av nederbördsområdet var regnvolymen troligen större än den uppmätta. Uppgifter från två privatpersoner i det drabbade området finns där runt 100 mm mättes under 2 timmar, vilket skulle motsvara ett regn med en ungefärlig återkomsttid på 370 år. Runt 130 fastigheter drabbades, varav de flesta låg i områdena Brandthovda, Malmaberg, Norra Haga och Skiljebo, se figur 7. Vid Norra Haga rasade banvallen till järnvägen som går över Hästhovsgatan (Västerås Stads stadsledningskontor, 2012). Även sjukhuset drabbades hårt av skyfallet då regnvatten läckte in i spillvattennätet och ett övertryck skapades där, vilket gjorde att sjukhusområdet översvämades (Hernebring, 2014). Plan 00 översvämades på många ställen upp till 40 cm med fuktskador och risk för utslagen utrustning som resultat (Parnfelt, 2012). De översvämade delarna på plan 00 i sjukhusets huvudbyggnad från skyfallet ses även de i figur 7. Efter händelsen har ett utjämningsmagasin för spillvatten byggts på sjukhusområdet för att avlasta spillvatten-systemet och minska konsekvenserna från framtida skyfall. Totalt beräknades skyfallet kosta samhället 10-tals miljoner kronor (Västerås Stads stadsledningskontor, 2012).



**Figur 7.** Områden med fastigheter, samt den del av sjukhusområdets huvudbyggnad, som drabbades av skyfallet 8 juli 2012. Bilden är konstruerad med hjälp av data från Parnfelt (2015) samt DHI (2013).

Ett annat tidigare skyfall som drabbade Västerås ägde rum den 22 juli 2011 där regnet bedömdes ha en återkomsttid på 10 år enligt Mälarenergis mätningar vid Brandthovda och Lisjögatan (Liderfelt och Ahlström, 2012). Trots att ledningsnätet i tätorten är

dimensionerat för ett regn med denna återkomsttid (Nore, 2015) blev många platser ändå översvämmade. Förutom bräddning av avloppsvatten, strömvabrott samt översvämningar i källare, översvämmades bland annat dessa sträckor:

- delar av Knektgatan
- gång- och cykeltunnel under E18 vid Erikslund
- bäcken vid Mälarparken
- E18 vid Emausmotet
- E18 vid Folkparksmotet

Kostnaden för skyfallet beräknades uppgå till ungefär 1 miljon kronor (Västerås Stads stadsledningskontor, 2012).

Det uppmätta nederbördsrekordet för Västmanlands län är i Hallstaberget, vilket ligger öster om Västerås, där 146 mm föll under ett dygn med start den 26 augusti 1996 (Persson m.fl., 2012). Detta motsvarar ett regn med en återkomsttid på ungefär 200 år enligt Dahlström (2010).

Ett antal extrema skyfall har också inträffat under de senaste åren i andra delar av Skandinavien. Ett sådant var skyfallet som ägde rum i Köpenhamn den 2 juli 2011 där 150 mm regn föll under 1,5 timme (Mårtensson och Hernebring, 2013). Denna regnvolym motsvarar ett regn med en återkomsttid på ungefär 1 500 år. På senare tid har även fler skyfall drabbat städer i närheten, bland annat drabbades Stockholm 27 juli 2014 och Malmö 31 augusti 2014 (Lind, 2014; SMHI, 2014g). Skyfallet i Malmö motsvarade ett regn med återkomsttiden 100 år.

### **2.3.3. Konsekvenser av skyfall**

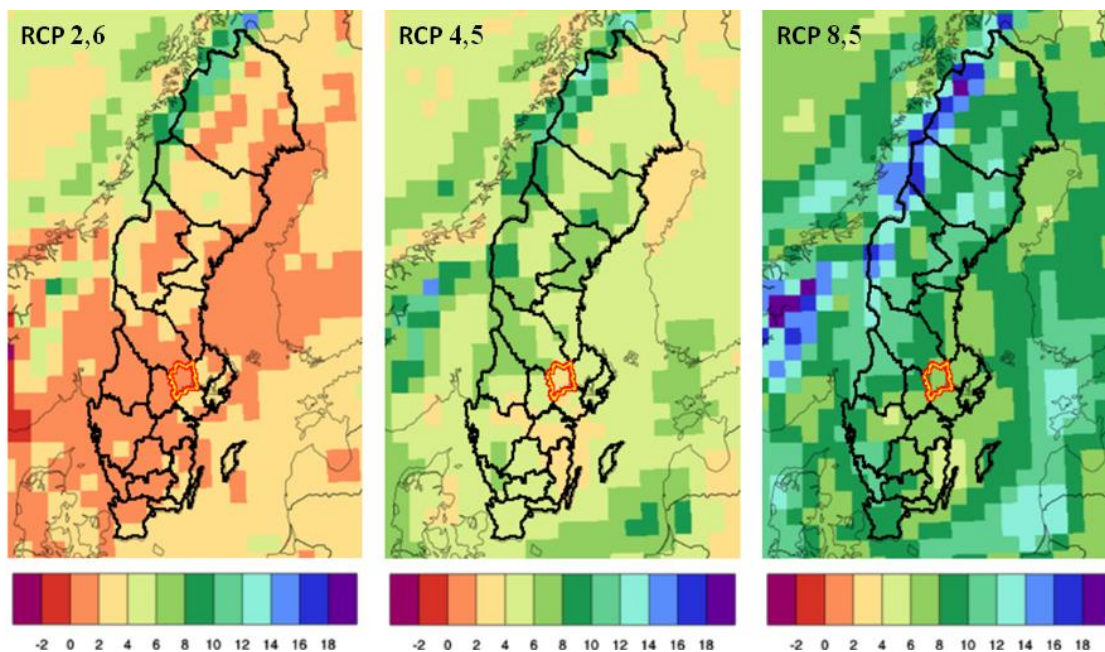
Hur snabbt vattnet rinner på markytan och hur stor yta som översvämmas beror på flera faktorer. Den främsta faktorn är terrängens variation i höjd och lutning. En annan faktor är markens råhet, vilken beskrivs med hjälp av Mannings tal (M) (Mårtensson och Gustafsson, 2014). I urbana miljöer påverkas vattnets markavrinning och infiltration till stor del av andelen hårdgjorda ytor (Mårtensson och Hernebring, 2013). Regnets intensitet och stadsplanering är andra viktiga faktorer som påverkar hur stora konsekvenserna blir för resurser och människor vid skyfall. I stadsmiljöer ska dagvattenssystemet avleda nederbörden, dock är dessa vanligtvis dimensionerade för att klara ett regn med en återkomsttid på 10 år (Mårtensson och Gustafsson, 2014). När dagvattenssystemet är fullt rinner resten av vattnet av på ytan och samlas i lågpunkter. Hur mycket vatten som ansamlas beror på regnets storlek (Mårtensson och Hernebring, 2013). Beroende på vad som finns i dessa lågpunkter (exempelvis grönområden eller villaområden) kan värdet på förlusterna variera. Enligt en rapport framtagen av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) kan en indelning göras av direkta och indirekta förluster och skador från skyfall. Exempel på direkta skador är att byggnader och infrastruktur förstörs eller att fara finns för människors hälsa om exempelvis orenat avloppsvatten trycks upp till ytan på grund av de fulla ledningarna (Grahm och Nyberg, 2010). Indirekta skador kan vara trafikstörningar, produktions-

förluster och en ökad sårbarhet i samhället. En vanlig konsekvens för byggnader är att källare översvämmas när regnvattnet tränger in i spillvattensystemet och läcker ut från lågt belägna brunnar i källaren, om inte en backventil finns. Vid en hög vattennivå utanför källaren kan vattnet även tränga in längs grundmuren (Mårtensson och Hernebring, 2013). Underfarter för tåg, bilar och fotgängare är andra lågpunkter där regnvatten kan ansamlas och som både kan utgöra en livshotande fara och hindra framkomligheten. Det är svårt att förutse kostnader för dessa konsekvenser då det beror mycket på var regnet faller (i en stad eller på en öppen yta), regnets intensitet och vilka motverkande åtgärder som har utförts. Ett exempel är det skyfall som föll över Kalmar den 30 juli 2003 där den maximala volymen motsvarade en volym med återkomsttiden 100 år. Skadekostnaderna där beräknades nå uppemot 63 miljoner kr (Mårtensson och Hernebring, 2013). Det skyfall som föll över Köpenhamn den 2 juli 2011 beräknades kosta minst 650 miljoner euro i försäkringsskador samt 65 miljoner euro från skador på kommunal infrastruktur.

#### **2.3.4. Skyfall i framtiden**

Trots att nederbörden sommartid ser ut att minska i framtidens Sverige så kommer risken för skyfall att öka (IPCC, 2013). Eftersom skyfall kan vara väldigt lokala fenomen är de dock svåra att prognostisera. Ett nystartat projekt av Karlstad Universitet, Statens geotekniska institut (SGI), SMHI och MSB syftar dock till att förbättra prognostiseringen av intensiv nederbörd genom att använda mer rumsligt högupplösta nederbördsprognoser (SMHI, 2013b).

Vid simulering av nederbörd i framtida klimatscenarier utvärderas oftast långa tidssteg så som dygn, månad eller under en viss årstid. Detta beror bland annat på osäkerheter i resultaten för kortare tidssteg samt att ackumulerad nederbörd under en längre tid oftast är mer intressant att undersöka (Olsson och Foster, 2013). Därför finns det bara ett fåtal analyser av framtida korttidsnederbörder så som skyfall i Sverige. Enligt IPCC:s klimatscenarier förväntas antalet dagar per år med kraftig nederbörd (minst 10 mm per dygn) att öka med 5-15 dagar från normalperioden till år 2100 beroende på vilket scenario som används (SMHI, 2014f), se figur 8. Detta innebär att det i värsta fall kan bli nästan en fördubbling av antal dagar per år med en nederbördsmängd på 10 mm. Västmanlands län är utmarkerat på kartan och där ses en ökning med maximalt 8 dagar per år. Dock visar scenarierna att antal dagar sommartid med kraftig nederbörd maximalt kommer öka med ett par dagar i länet.



**Figure 8.** Beräknad genomsnittlig förändring av antal dagar per år med kraftig nederbörd (10 mm per dygn) för perioden 2071-2100 jämfört med 1971-2000 enligt scenarierna RCP 2,6, RCP 4,5 respektive RCP 8,5. Scenarierna visar ett genomsnitt av flera olika klimatscenarier och skalan anges i antal dagar. Västmanlands län är markerat på kartan (SMHI, 2013a).

Förutom fler dagar med kraftig nederbörd kommer även den största dygnsnederbörden att vara större i slutet av detta århundrade än under normalperioden 1961-1990. Beroende på vilket scenario som används kommer den största dygnsnederbörden öka med 10-25 % från dagens genomsnittliga 35 mm för Svealand (SMHI, 2014h, 2013a). Vid en jämförelse av hur en dygnsnederbörd med återkomsttiden 10 år har förändrats historiskt i Sverige, ses en genomsnittlig ökning på 6,4 % från perioden 1961-1990 fram till 1981-2010 (Olsson och Foster, 2013). Då dagens regn med återkomsttiden 10 år innehåller en större mängd vatten än regnet med samma återkomsttid från den tidigare perioden, innebär det att det ursprungliga regnet med återkomsttiden 10 år inträffar oftare. På grund av klimatförändringarna förväntas återkomsttiden för olika regnintensiteter bli kortare även i framtiden (Söderberg m.fl., 2011).

En förenklad metod för att uppskatta regnets framtida storlek är att använda så kallade klimatfaktorer, vilka representerar den procentuella ökningen av nederbörden i framtiden jämfört med normalperioden. Denna faktor kan multipliceras med dagens nederbörd för att undersöka hur framtidens nederbörd kan se ut (Svenskt Vatten, 2011). Som tidigare nämnts visar RCP-scenarierna för Västmanlands län en procentuell ökning av nederbördsmängden på 5-30 % närmare år 2100. Med hjälp av detta, och beräkningsmetod enligt Dahlström (2010), se ekvation 2 i avsnitt 3.2.7., har en sammanställning gjorts över den förväntade återkomsttiden för olika regnintensiteter mot slutet av detta århundrade. Sammanställningen ses i tabell 2. En regnvaraktighet på 30 minuter har använts vid beräkandet av de framtida återkomsttiderna. Vid

intensivare regn är osäkerheterna större för de framtida scenarierna, därför beräknas även den framtida återkomsttiden för en extrem ökning på 50 %.

**Tabell 2.** Hur framtidens återkomsttid för olika regn beror på olika klimatfaktorer.

| Klimat-faktor | Olika stora regn idag med motsvarande återkomsttider år 2100 |                                   |                                    |                                    |                                     |
|---------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
|               | Återkomst-tid för 10-årsregn (år)                            | Återkomst-tid för 30-årsregn (år) | Återkomst-tid för 100-årsregn (år) | Återkomst-tid för 200-årsregn (år) | Återkomst-tid för 1000-årsregn (år) |
| 1,05          | 9                                                            | 26                                | 86                                 | 172                                | 863                                 |
| 1,10          | 7                                                            | 22                                | 75                                 | 150                                | 749                                 |
| 1,15          | 6                                                            | 19                                | 65                                 | 131                                | 655                                 |
| 1,20          | 6                                                            | 17                                | 57                                 | 115                                | 576                                 |
| 1,25          | 5                                                            | 15                                | 50                                 | 101                                | 509                                 |
| 1,30          | 4                                                            | 13                                | 45                                 | 90                                 | 452                                 |
| 1,50          | 3                                                            | 9                                 | 29                                 | 58                                 | 292                                 |

Många forskare är eniga om att Sverige i framtiden kommer drabbas av fler skyfall under sommaren. Från de klimatmodeller som finns tillgängliga idag är det dock svårt att bedöma hur kraftiga dessa skyfall kommer att bli i urbana miljöer då modellernas upplösning vanligtvis är på 50 x 50 km (Svenskt Vatten, 2011).

### 3. METODER OCH MATERIAL

#### 3.1. ÖVERSIKTLIG KARTERING I ArcGIS

Utifrån en lågpunktskartering över Västerås, utförd av SMHI, har en egen kartläggning gjorts över vilka viktiga objekt och större bostadsområden som finns i dessa låga områden och som då riskerar att översvämmas vid ett skyfall. I första kapitlet beskrivs kortfattat hur SMHI har utfört lågpunktskarteringen och i de följande kapitlen hur lågpunktskarteringen har använts för vidare studier inom detta examensarbete.

##### 3.1.1. SMHI:s lågpunktskartering över Västmanlands län

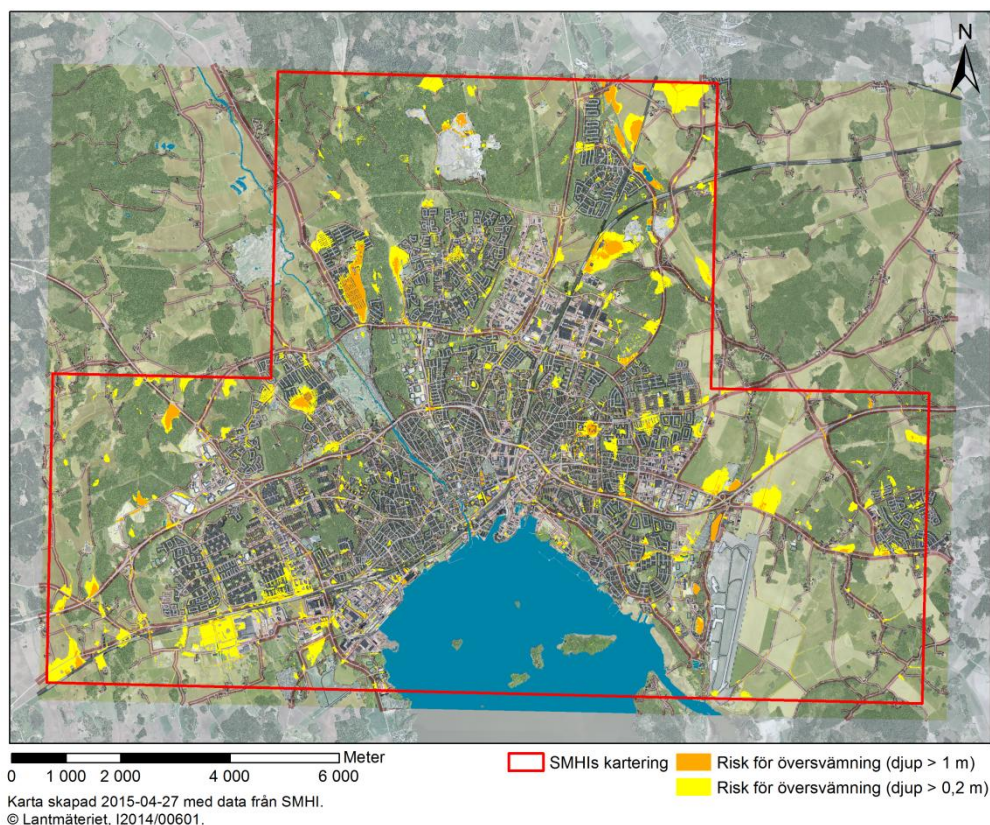
SMHI har under år 2015 sammanställt en lågpunktskartering över kommunernas huvudorter i Västmanlands län på uppdrag av Länsstyrelsen. Denna kartering är en del av länets pågående klimatanpassningsarbete inom fysisk planering där karteringen syftar till att förenkla plan- och lovarbete vid framförallt vattenrelaterad verksamhet. Utifrån karteringen fås därefter en bild av i vilka områden som vidare utredningar kan behövas. Karteringen är en kostnadseffektiv metod för att hitta vilka urbana områden som riskerar att översvämmas vid skyfall.

Karteringen har utgått från Lantmäteriets nationella laserskanning, GSD 2+, där terrängen redovisas i ett grid med upplösningen 2 m. En utförligare beskrivning av GSD 2+ återfinns i nästa stycke. Information från Fastighetskartan har även använts för att kunna ta hänsyn till objekt som inte höjdmodellen tar hänsyn till men som påverkar vattnets väg, exempelvis byggnader, broar, underfarter och vattenytor (Hallberg, 2015). Det referenssystem som har använts är SWEREF 99 TM för plan och RH 2000 för höjd.



Analysen har utförts med hjälp av Geografiska Informationssystem (GIS) där detaljerad information om terrängen används för att undersöka ytavrinningen. Då allt vatten som faller som nederbörd först rinner på ytan passar denna metod bäst för kraftiga regn där marken inte hinner infiltrera, eller då marken redan är vattenmättad. Utifrån terrängen har lågpunkter och flödesvägar undersökts i GIS. Flödesvägarna undersöks genom att först fylla upp små felaktiga sänkor i terrängen för att undvika att vattnet ansamlas på fel ställen och därmed inte kan rinna vidare. Därefter beräknas hur flödet på markytan rinner mellan olika celler i höjdmodellen, vilka slutligen samlas ihop och redovisas som ackumulerade strömningsvägar där vattnet med stor sannolikhet tar sig fram. Det är dock inte vattnets väg som har simulerats, utan endast hur vattnet kan rinna enligt terrängen. De flödesvägar som redovisas är de med en uppströms area större än 400 m<sup>2</sup>. En sammanställning har även gjorts över huvudorternas låga områden där vatten riskerar att ansamlas. Områden som är omgivna av högre terräng på alla sidor, vilket gör att vattnet till synes inte kan transporteras bort, har fyllts upp i GIS. En filtrering görs av de lågpunktsområden som fyllts upp där de områden som redovisas har delats in efter de som har ett djup på minst 0,2 m respektive minst 1 m. De lågpunktsområden som har ett djup mindre än 0,2 m har inte redovisats. Områden som är utpekade som lågpunktsområden behöver dock inte bli översvämmade utan bör mer ses som potentiella riskområden.

Informationen ovan är tagen från SMHI:s arbetsmaterial där den slutgiltiga rapporten kommer fastslås senare under 2015. En karta över Västerås med avgränsningen för SMHI:s kartering över tätorten ses i figur 9.



**Figur 9.** Karta över Västerås med lågpunktsområden och gräns för SMHI:s kartering.

### 3.1.2. Övrigt underlag till översiktlig kartering

Som underlag för fortsatta studier och hydraulisk modellering användes följande data:

- Höjddata över tätorten Västerås med omnejd från GSD 2+
- Fastighetskartan över tätorten Västerås
- Ortofoto över tätorten Västerås

Datat i GSD 2+ kommer från Lantmäteriets nationella laserskanning där upplösningen har generaliserats till ett gridformat på 2 x 2 m. Höjddatat är framtaget bland annat för att kunna användas vid klimatanpassningsåtgärder där högupplöst data krävs (Lantmäteriet, 2014). Medelfelet på datat ligger på ungefär 0,25 m i plan samt 0,05 m i höjddled på öppna plana ytor. Dock finns ett medelfel på 0,1 m i höjddled mellan angränsande skanningsområden (Lantmäteriet, 2014). Höjddatat producerades år 2014 för Västerås (Lantmäteriet, 2015). Den fastighetskarta som har använts producerades 2013, dock har vissa byggnader justerats för hand vid sjukhusområdet efter uppgifter från Landstinget i Västerås om rivningar och nybyggnationer inom den närmaste tiden. Ortofotot som använts skapades 2012 (Lantmäteriet, 2015). Data från Lantmäteriet redovisas i referenssystemet RH 2000 för höjd samt i SWEREF 99 TM för plan. Vid framställning av underlagsmaterial i ArcGIS har dock det lokala referenssystemet för Västerås, SWEREF 99 16 30, använts.

Information om planerad bebyggelse, förorenad mark samt samhällsviktiga objekt i Västerås har erhållits från kommunen. Från Mälarenergi kommer data om nätstationer och prioriterade pumpstationer. Sträckning för vägar och järnvägar har tagits från fastighetskartan. Landstinget har bidragit med information kring sjukhusbyggnaderna.

### 3.1.3. Avgränsningar i karteringen

Då GSD 2+ har en upplösning på 2 x 2 m tas inte hänsyn till exempelvis gatstenar, trottoarer och små öppningar som kan ändra vattnets väg. På grund av ett utbrett vägnät, där många delar återfinns i låglänta områden, har en avgränsning gjorts i karteringen där endast låga vägnära områden med en area på minst 100 m<sup>2</sup> har undersökts. Denna avgränsning har gjorts med hänsyn tagen till datamängden.

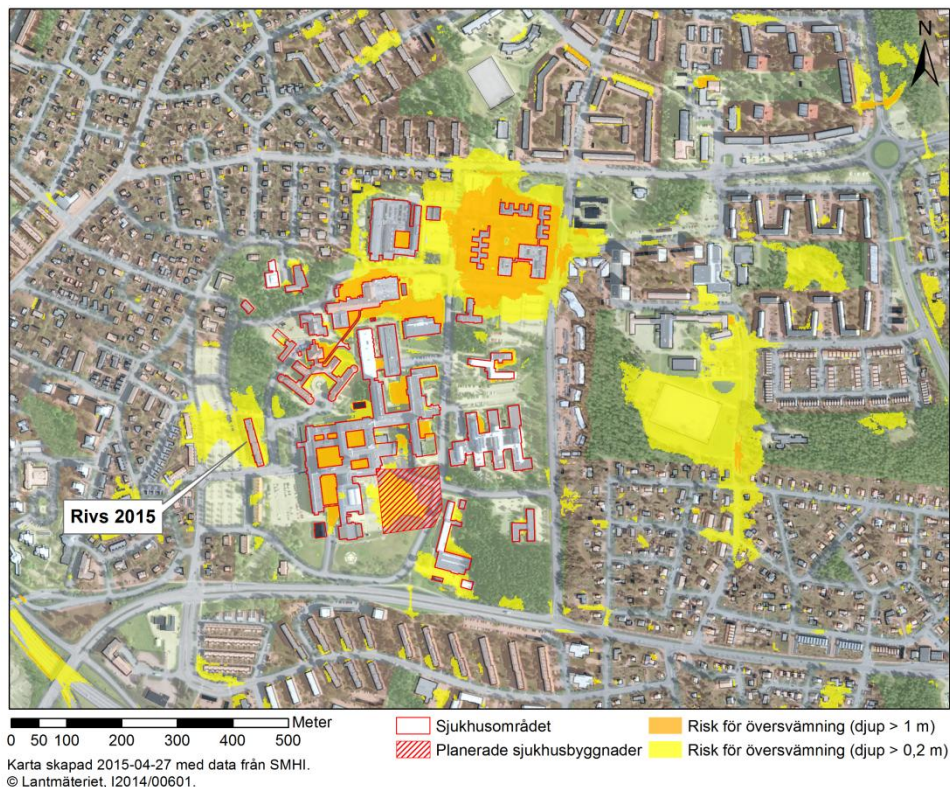
### 3.1.4. Utförande av översiktlig kartering

För att jämföra vilka samhällsviktiga verksamheter och andra viktiga objekt som finns vid lågpunktsområden har GIS-programmet ArcGIS använts. Samhällsviktig verksamhet är en sådan viktig funktion att om denna skulle störas allvarligt, eller försvinna helt, skulle det leda till en stor risk och fara för befolkningens hälsa eller samhällets funktionalitet (Västerås Stads stadsledningskontor, 2012). De objekt som har karterats är vägar, järnvägar, förorenade områden, större bostadsområden, skolor, vårdcentraler, exploateringsområden, nätstationer och prioriterade pumpstationer. Alla viktiga objekt har först tilldelats egna kartlager så att de kan jämföras var för sig. De objekt som endast representeras av punkter har knutits samman med den byggnad som punkten representerar. För att få en realistisk bild av vilka delar av järnvägen och vägarna, vilka endast representeras av linjer i ArcGIS, som riskerar att drabbas av översvämning har dessa breddats. Att denna infrastruktur förekommer som linjer beror

på att de hämtats från fastighetskartan. Vägarna har breddats till 10 respektive 20 m för mindre och större vägar och järnvägen har breddats till 6 m. En säkerhetsmarginal på ytterligare 5 m utanför järnvägen har använts vid jämförelsen med låga områden på grund av erosionsrisken om området vid banvallen skulle vattenfyllas. Ingen breddning har gjorts för cykelvägar då linjernas ursprungliga bredd är 2 m, vilket anses vara en trolig bredd på en cykelväg. För uppskattning av vägarnas bredd har fastighetskartan jämförts med Google Earth. Vid jämförelsen med lågpunktsområden har en säkerhetsmarginal på 10 m använts runt förorenade områden då det dels är svårt att veta den exakta utbredningen på föroreningarna samt hur lätt de sprids med vattnet. En omkrets på 5 m utanför nätstationer har också lagts till som en säkerhetsåtgärd. Därefter har respektive lager kopplats ihop med de riskområden som SMHI har tagit fram. För de objekt som på många platser befinner sig i låga områden, exempelvis vägar, har främst sänkor med ett djup på minst 1 m analyserats då dessa anses kunna leda till mest akuta skador om de skulle vattenfyllas. Att analysera alla lågpunkter som har ett vattendjup på minst 0,2 m, vilket är den andra gränsen som SMHI har använt i sin kartering, skulle ta för lång tid. Vissa områden som enligt SMHI:s kartering har ett vattendjup på minst 0,2 m men som översvämmades år 2011 och 2012 har dock tagits med i analysen.

### 3.1.5. Val av område för vidare detaljstudier utifrån översiktlig kartering

I kommunen finns flera stora lågpunktsområden där vatten kan ansamlas. Ett av dessa är sjukhusområdet, se figur 10. Då detta område tidigare har drabbats av översvämningar, samt att det är en viktig samhällsfunktion, har det valts för vidare studier där en djupare analys görs över hur vattnet kan flöda och ansamlas utifrån olika förutsättningar.



**Figur 10.** Sjukhusområdet tillsammans med lågpunktsområden karterade av SMHI. Även planerad sjukhusbyggnad finns markerad på kartan.



### **3.2. HYDRAULISK MODELLERING ÖVER SJUKHUSOMRÅDET MED MIKE 21**

För att ge en fördjupad inblick i hur sjukhusområdet kan drabbas av ett skyfall byggdes en hydraulisk modell upp. I en sådan modell, till skillnad från en lågpunktskartering, kan olika hydrauliska beräkningar göras för att bland annat undersöka hur vattnet flödar och var det ansamlas. På så vis kan eventuella konsekvenser vid till exempel olika regnscenarier undersökas.

#### **3.2.1. Val av hydraulisk modell**

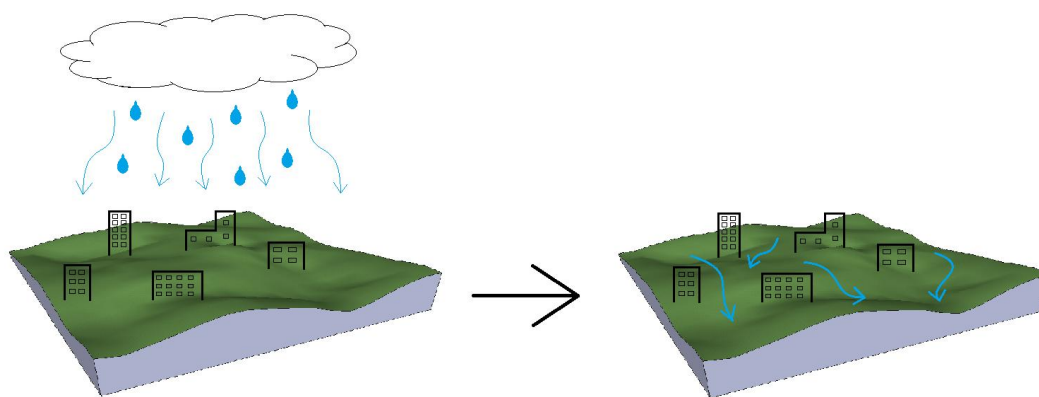
Valet av modell grundar sig på vilken information som finns tillgänglig och vad analysen har för syfte. Om syftet är att göra en överskådlig analys av vilka områden som riskerar att översvämmas kan en kartering av områdets lågpunkter utföras. Detta kan exempelvis göras med hjälp av ett GIS-program, vilket är den metod som SMHI har använt sig av vid karteringen över Västmanlands län. En sådan analys tar dock inte hänsyn till ledningssystem eller annan hydraulik (Mårtensson och Hernebring, 2013). Den tar heller inte hänsyn till hur stor regnvolymen är och därmed hur stor risken är för att ett specifikt område skulle drabbas av översvämning vid ett särskilt tillfälle. För att simulera hur vattnet flödar i ledningssystem eller i vattendrag kan endimensionella hydrauliska modeller användas. Om analysen ska kunna ta hänsyn till hur vattnet rinner på ytan och var det samlas vid olika nederbördsintensiteter behövs dock en tvådimensionell hydraulisk modell. Detta beror främst på kravet på högre modellupplösning för att kunna göra en representativ beskrivning av stadsmiljön med exempelvis byggnader och vägar (Henonin m.fl., 2013). Sådana modeller har inte funnits tillgängliga så länge, men de blir allt vanligare och idag finns flera att välja bland. I tvådimensionella hydrauliska modeller tas dock ingen hänsyn till vatten som rinner i ledningar. För att optimera en modell som beskriver hur vattnet flödar på ytan i en urban miljö kan en tvådimensionell modell kopplas ihop med en endimensionell modell över ledningsnätet (Mårtensson och Hernebring, 2013). Dock är detta en tidskrävande modell att bygga upp och den gör mest nytta vid mindre regn där ledningsnätet kan leda bort en stor del av nederbörden. Vid stora nederbördsmängder kommer ledningarna troligtvis vara fulla och ha en mindre betydelse (Mårtensson och Hernebring, 2013). Därmed är det rimligt att förenkla modellerna för denna typ av studie genom att inte räkna med ledningsnätet alls, eller att göra ett schablonavdrag för ledningsnätets kapacitet istället för att konstruera hela systemet. För hydraulisk modellering över sjukhusområdet har en tvådimensionell modell valts där ett avdrag har gjorts för den totala bedömda vattenvolymen som ledningsnätet har kapacitet för.

#### **3.2.2. Hydraulisk modellering med MIKE 21**

För den detaljerade modellen över området kring Västerås sjukhus har den hydrauliska tvådimensionella programmet MIKE 21 valts, vilket är framtagen av Danish Hydraulic Institute (DHI). Den senaste versionen från 2014 har använts. DHI rekommenderar att MIKE 21 används till bland annat utvärdering av översvämningsrisker vid kuster, i inlandet samt vid simulering av flöden på land (DHI, 2014a). Då information om marktyper (exempelvis hårdgjorda ytor) kan läggas in i modellen, kan olika hydrauliska beräkningar göras så som vattendjup, flödeshastighet och flödesriktning (Mårtensson

och Hernebring, 2013). MIKE 21 är ett relativt enkelt program att använda och är välanvänt för liknande simuleringar. De beräkningar som programmet utför baseras på numeriska lösningar av de flödesbeskrivande Navier Stokes-ekvationerna (DHI, 2014a). I det här programmet har en modell som kallas för Flow Model använts, där vattnet får flöda fritt på en 2D-yta och lämpar sig då väl för flöden på land. MIKE 21 Flow Model är uppbyggt i ett tvådimensionellt grid (x- och y-riktning) med en konstant rutstorlek som anpassas efter terrängens upplösning. Storleken på gridet och terrängens upplösning påverkar hur noggranna beräkningarna i modellen blir.

För att kunna köra programmet behövs olika filer med indata och olika parametrar måste bestämmas. De filer som behövs är information om hur terrängen ser ut, med vilken intensitet som regnet faller och hur markens råhet varierar. En illustration kan ses i figur 11 över hur denna information används i simuleringen.



**Figur 11.** Med hjälp av information om terrängen, nederbörden och markens råhet kan ytaavrinning simuleras i MIKE 21.

Filerna byggs upp var för sig men måste ha samma storlek för att kunna användas i MIKE 21 Flow Model. Hur dessa filer har byggts upp förklaras utförligt i avsnitt 3.2.5. – 3.2.8. I modellen bestäms även hur lång tid som ska simuleras och hur långt varje tidssteg ska vara. Tidssteget anger den frekvens med vilken indata läses in. Vid en varierad terräng med stora höjdskillnader på små ytor kan ett kortare tidssteg behövas för att undvika numeriska instabiliteter som leder till felaktiga resultat och att simuleringens avbryts. Vid kortare tidssteg tar dock simuleringarna längre tid.

### 3.2.3. Avgränsningar i modellen

En geografisk avgränsning av området har gjorts där endast sjukhusets avrinningsområde, med lite marginal, har tagits med. Området är dock ca 1000 ha och upptar en stor del av tätorten, se figur 12. Modellens upplösning beror på terrängens upplösning, vilken är på 2 x 2 m. Detta gör att ingen hänsyn kan tas till objekt mindre än detta (exempelvis trottoarkanter). Hänsyn har dock tagits till byggnader genom att höja upp dessa med 2 m i den ursprungliga terrängfilen. Detta görs för att simulera en mer verklighetstrogen urban miljö där byggnader påverkar vattnets rinnväg. Samma upplösning gäller för alla filer som används till simuleringen. Ingen modell har satts upp för ledningsnätet, istället görs ett avdrag för den maximala vattenvolymen som ryms i ledningarna. Då skyfall vanligtvis sker på sommaren, när markens magasin kapacitet är

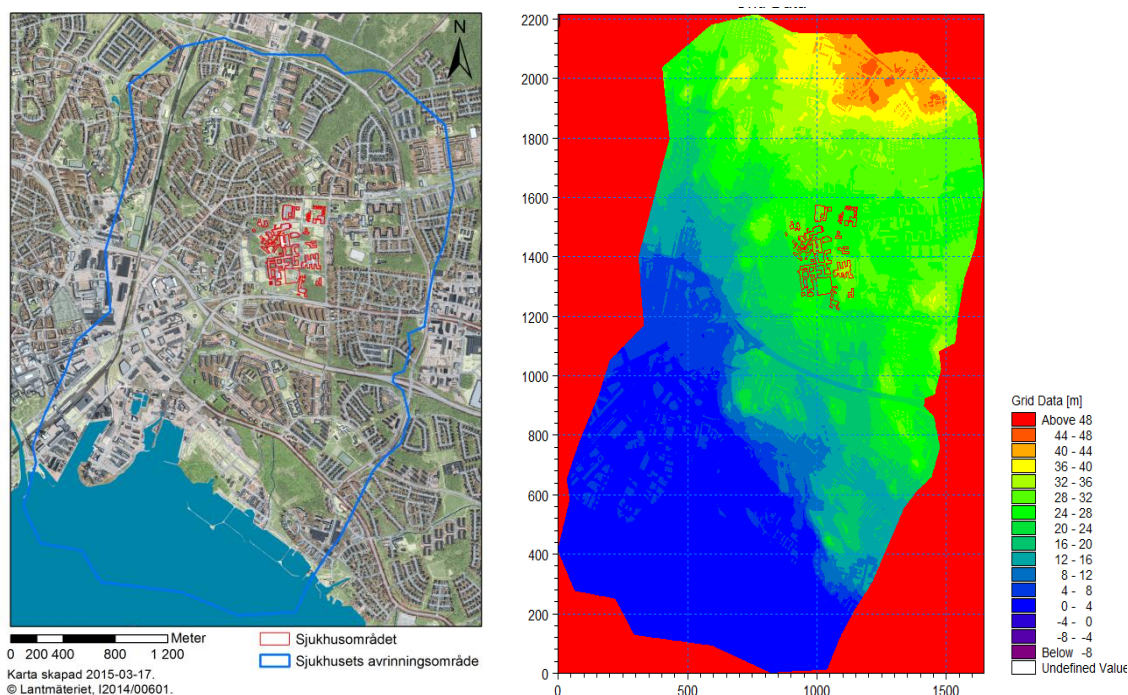
stor, antas att regnet delvis kan infiltrera. Hänsyn har tagits till markens infiltrationskapacitet genom att olika avrinningskoefficienter har tagits fram för olika marktyper vid framtagandet av regnfilen.

#### 3.2.4. Simulering av skyfall över sjukhusområdet med MIKE 21

För att kunna simulera ytavrinning vid ett skyfall inom sjukhusområdet har en terrängmodell över sjukhusets avrinningsområde byggts upp. Från fastighetskartan kan marken klassas beroende på vilken marktyp det är då olika marktyper har olika råhet. Detta ligger till grund för skapandet av en fil med markens råhet. Marktypen påverkar också hur mycket regn som kan infiltrera respektive rinna av på ytan, därför skapas även en regnfil med olika regnintensiteter beroende på vilken typ av mark och därmed vilka avrinningskoefficienter som gäller inom avrinningsområdet. Det regn som har valts att simuleras som huvudscenario är ett med varaktigheten 30 minuter och som har återkomsttiden 100 år. Dessutom har några andra regnscenarier studerats för att få en känslighetsanalys av översvämningens risk.

#### 3.2.5. Terrängmodellens uppbyggnad

Terrängmodellen är det viktigaste indata till den hydrauliska modellen. En noggrann terrängmodell innebär att den hydrauliska modellen kan beskrivas bättre (DHI, 2014b). För att få ett mindre område som går snabbare att beräkna har sjukhusets avrinningsområde (med viss marginal) valts ut, se figur 12. Vid undersökning av ett specifikt område behöver oftast ett mycket större område tas med för att inte felaktigt begränsa vattnets rörelse mot modellens kanter.



**Figur 12.** Sjukhusets avrinningsområde som har valts ut för terrängmodellens uppbyggnad. Den vänstra bilden är från ArcGIS och den högra visar hur terrängfilen ser ut i MIKE 21 Flow Model. Aktuella sjukhusbyggnader till modellen finns utmarkerade.

Terrängmodellen har byggts upp med hjälp av ArcGIS och utgår från höjddata och fastighetskartan. Alla filer har konverterats till Västerås lokala referenssystem SWEREF 99 16 30 (Lantmäteriet, 2007). Konverteringen gjordes med hjälp av programvaran SweTrans, vilken är utvecklad för att transformera geografisk information mellan olika svenska koordinatsystem.

För att välja ut sjukhusets avrinningsområde har terrängens flödesvägar undersökts i ArcGIS. En jämförelse har även gjorts med det avrinningsområde för sjukhuset som Mälarenergi tidigare har tagit fram samt med de delavrinningsområden som är definierade av Svenskt Vattenarkiv (SVAR). Det slutgiltiga området, med lite marginal, har därefter klippts ut för att minimera filstorleken.

För sjukhusområdet har Landstingets kartor använts där planerade och borttagna byggnader finns utmärkta. Genom att anpassa denna karta i ArcGIS till terrängkartans koordinatsystem, har de nya byggnaderna lagts till och de rivna tagits bort.

Terrängfilen, skapad i ArcGIS, laddas därefter in i programmet MIKE 21 för vidare bearbetning. Eftersom MIKE 21 Flow Model är uppbyggt av ett grid i x- och y-riktningen, måste terrängmodellen vara rektangulär. Detta innebär att modellen kommer ha rutor som ligger utanför avrinningsområdet. För att de inte ska tas med i beräkningarna har de satts till ett högt landvärde (ses som röda områden i den högra bilden i figur 12). Terrängfilen tar inte hänsyn till byggnader utan bara till markens nivå. Eftersom byggnader vanligtvis hindrar flödesvägar bör dessa höjas upp i terrängmodellen. Detta har gjorts med hjälp av DHI:s topografiverktyg Shape2MIKETool, vilket är anpassat för 2014 års version av MIKE-programmen. Med hjälp av detta verktyg har alla byggnader som finns i terrängfilen höjts upp med 2 m ovanför marken utifrån byggnadslagret i fastighetskartan.

Utifrån terrängfilen skapas en likadan fil som ska representera den ursprungliga vattenytan vid start, alltså ett initialvillkor för vattenytan innan det börjar regna, vilken här är densamma som markytan.

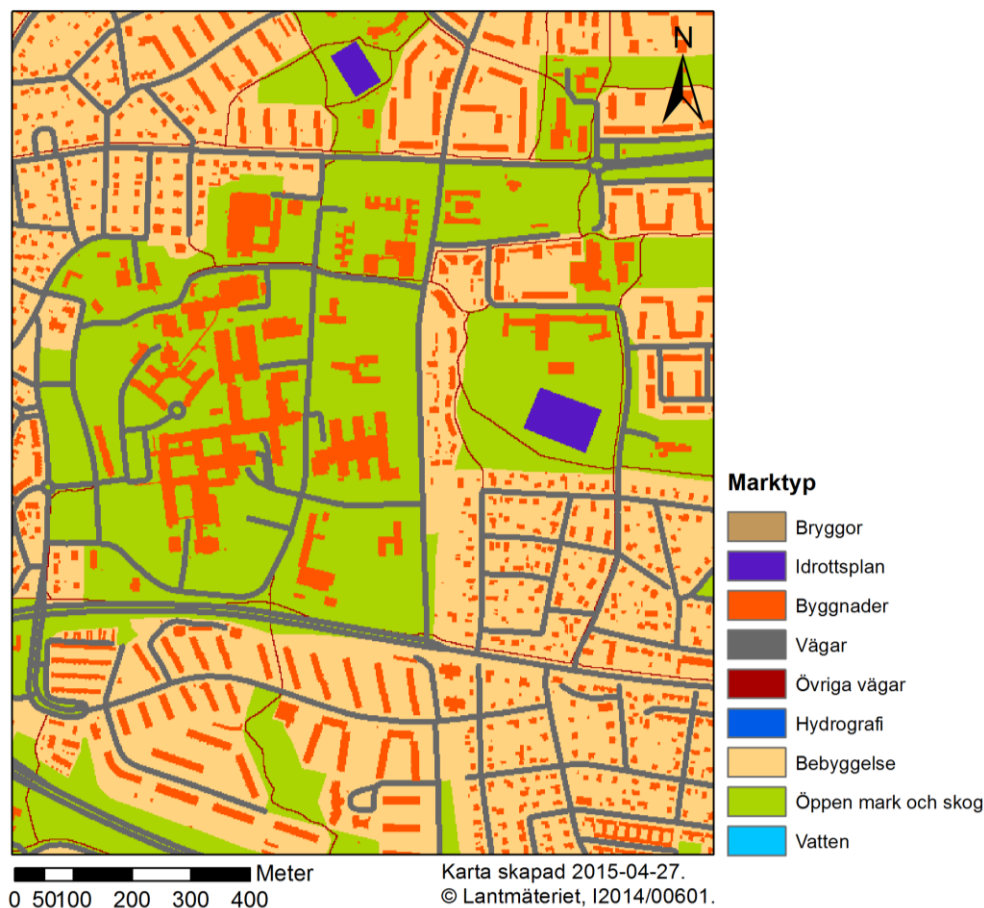
### **3.2.6. Klassning av markytan**

Vid uppbyggandet av modellen i MIKE 21 krävs bland annat filer med regnintensitet och råhet (Mannings tal). Dessa har ursprungligen skapats i ArcGIS utifrån fastighetskartan. Från fastighetskartan har olika marktyper valts ut, vilka tillsammans täcker hela den undersökta ytan i Västerås tätort. Exempel på dessa marktyper är vägar, byggnader och bebyggelse, se tabell 3.

**Tabell 3.** Olika marktyper i modellen med respektive klass.

| Marktyp                                 | Klassning |
|-----------------------------------------|-----------|
| Bryggor                                 | 1         |
| Idrottsplan                             | 2         |
| Byggnader                               | 3         |
| Vägar (10 m breda)                      | 4         |
| Övriga vägar (2 m breda) (ex. cykelväg) | 5         |
| Hydrografi (ex. vattendrag)             | 6         |
| Bebyggelse (ex. asfalterad gårdsplan)   | 7         |
| Öppen mark och skog                     | 8         |
| Sjöar                                   | 9         |

Ett exempel på hur områdena är indelade ses i figur 13 där det befintliga sjukhusområdet år 2012 ses i mitten av figuren.



**Figur 13.** Exempel på vilka områden som har fått respektive klassning.

De marktyper som har använts i modellens filer har tilldelats olika klasser för att underlätta i vilken ordning dessa filer ska konstrueras. Detta har gjorts för att undvika att delar av eller hela lager med marktyper felaktigt överlappas av andra och då inte tas med i modellens simuleringar. Om två lager från fastighetskartan överlappar ska det lager som har högst avrinningskoefficient prioriteras för att beräkningen ska bli mest konservativ. Varje marktyp har därefter tilldelats en viss regnintensitet och ett visst

Mannings tal (M) utifrån andel hårdgjord yta för respektive typ av mark. På så sätt kan mängden vatten som infiltrerar eller rinner av olika marktyper beskrivas på ett överskådligt sätt.

### 3.2.7. Regnintensitet

För beräkning av regnintensiteten vid den valda återkomsttiden har Svenskt Vattens publikation P104, ”Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem”, använts. Denna publikation fastställdes i augusti 2011 av Svenskt Vattens Rörnätsskommitté och bygger på resultat från moderna högupplösta regnserier (Svenskt Vatten, 2011). P104 tar mer hänsyn till klimatförändringar än tidigare publikationer kring nederbördsdata vid dimensioneringar.

Enligt tidigare nämnd definition på skyfall är det ett kraftigt regn under kort tid. För regn med en varaktighet under ett dygn rekommenderar P104 att regnintensiteten beräknas utifrån blockregnstatistik enligt Dahlström (2010), se ekvation 2. Ekvationen är framtagen från statistik över historiska regnhändelser i Sverige där dessa regn redovisas som blockregn, det vill säga att den maximala medelintensiteten för en viss varaktighet används (Svenskt Vatten, 2011).

$$i_A = 190 \cdot \sqrt[3]{A} \cdot \frac{\ln(T_R)}{T_R^{0,98}} + 2 \quad (2)$$

Där  $i_A$  = regnintensitet (l/s, ha)

$T_R$  = regnvaraktighet (minuter)

$A$  = återkomsttid (månader)

I modellen belastas området med ett regn med återkomsttiden 100 år, vilket ger en återkomsttid ( $A$ ) på totalt 1200 månader. Då regnvaraktigheten ( $T_R$ ) sätts till 30 minuter kan regnintensiteten ( $i_A$ ) avrundas till 247,02 l/s, ha. För att omvandla till enheten mm/h multipliceras regnintensiteten med 0,36. Regnvolymen från ett regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter blir då totalt 44,46 mm. Detta gäller dock för dagens regn med 100 års återkomsttid. För att simulera framtida regn har en klimatkoefficient på 1,15 använts, vilket innebär att nederbörden förväntas öka med 15 %. Detta är den klimatkoefficient som kommer användas i Västerås vid framtida dimensioneringar (Nore, 2015). Den slutgiltiga regnvolymen avrundas då till 51,1 mm/30 minuter.

Vid en sådan stor regnvolym får ledningsnätet mindre betydelse. En förenkling har därför gjorts där ett engångsavdrag har gjorts för hela ledningsnätets kapacitet. Denna förenkling rekommenderas främst för regn med en återkomsttid på minst 100 år (Mårtensson och Gustafsson, 2014). Ingen simulering har därför gjorts med ledningsnätet, istället har en vattenvolym motsvarande ledningarnas kapacitet dragits av från den totala regnvolymen vid de marktyper som troligen har ett ledningsnät. Enligt Nore (2015) på Mälarenergi AB dimensioneras dagens ledningsnät i Västerås för att klara ett regn med återkomsttiden 10 år. Hela ledningsnätet antas därför kunna avleda ett regn med denna återkomsttid och varaktigheten 30 minuter. Enligt ekvation 2 blir då

den totala vattenvolymen som ryms i ledningsnätet 20,8 mm/30 min. Ingen klimatfaktor har använts för beräkning av denna vattenvolym.

En del av regnet kommer i verkligheten att infiltrera i marken, vilket innebär att avdrag måste göras för detta innan slutgiltiga regnintensiteter kan simuleras. Utifrån marktyp, där olika marktyper har olika andelar hårdgjorda ytor, har avrinningskoefficienter tagits fram enligt Svenskt Vattens publikation P90, ”Dimensionering av allmänna avloppsledningar”, se tabell 4. Avrinningskoefficienten anger hur stor del av nederbörden som faktiskt avrinner på ytan efter att avdunstning och infiltration har räknats bort (Svenskt Vatten, 2004). Vid större andel hårdgjorda ytor, brantare lutning på marken och högre regnintensitet blir avrinningskoefficienten större. Det maximala värdet på avrinningskoefficienten är 1. För att få motsvarande värden på avrinningskoefficienter vid ett regn med 100 års återkomsttid har koefficienterna multiplicerats med en faktor på 1,25 då mindre vatten hinner infiltrera vid kraftig nederbörd (Vägverket, 2008). För vattendrag sätts avrinningskoefficienten till 1 för att förhindra att regnvatten reduceras här, genom exempelvis infiltration, och försvinner ut ur modellen.

**Tabell 4.** Olika marktyper i modellen med respektive avrinningskoefficient för regn med återkomsttid 10 respektive 100 år. Riktvärden är hämtade från Svenskt Vatten (2004).

| Marktyp             | Avrinningskoefficient        |                               |
|---------------------|------------------------------|-------------------------------|
|                     | Regn med 10 års återkomsttid | Regn med 100 års återkomsttid |
| Bryggor             | 0,40                         | 0,5                           |
| Idrottsplan         | 0,20                         | 0,25                          |
| Byggnader           | 0,90                         | 1                             |
| Vägar               | 0,80                         | 1                             |
| Övriga vägar        | 0,80                         | 1                             |
| Hydrografi          | 1                            | 1                             |
| Bebyggelse          | 0,30                         | 0,375                         |
| Öppen mark och skog | 0,1                          | 0,125                         |
| Sjöar               | 1                            | 1                             |

Enligt Svenskt Vatten (2011) har därefter avrinningskoefficienterna multiplicerats med regnvolymin från de olika regnen (51,1 mm respektive 20,8 mm under 30 minuter) för att få den faktiska volymen vatten som rinner av på markytan, se tabell 5. Vattenvolymin som maximalt ryms i ledningarna dras därefter av från regnvolymin för att få den totala regnintensiteten som används i modellen. För de marktyper som troligen inte har ledningsnät har inget avdrag gjorts för denna volym. I modellen har vattenvolymin i övriga områden utanför det undersökta avrinningsområdet satts till noll. Regnet har endast fallit under de första 30 minuterna.



**Tabell 5.** Olika marktyper i modellen med respektive vattenvolym för regn med återkomsttid 10 respektive 100 år med varaktigheten 30 minuter. Differensen mellan dessa blir den totala volymen vatten som används i modellen.

| Marktyp             | Volym vatten (mm/30 min)                                     |                                                               |                                  |
|---------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------|
|                     | Regn på 30 min med återkomsttid på 100 år, klimatfaktor 1,15 | Regn på 30 min med återkomsttid på 10 år, max i ledningsnätet | Total volym regn till simulering |
| Bryggor             | 25,6                                                         | 8,3                                                           | 17,3                             |
| Idrottsplan         | 12,8                                                         | 4,2                                                           | 8,6                              |
| Byggnader           | 51,1                                                         | 18,8                                                          | 32,3                             |
| Vägar               | 51,1                                                         | 16,7                                                          | 34,4                             |
| Övriga vägar        | 51,1                                                         | 16,7                                                          | 34,4                             |
| Hydrografi          | 51,1                                                         | 0,0                                                           | 51,1                             |
| Bebyggelse          | 19,2                                                         | 6,3                                                           | 12,9                             |
| Öppen mark och skog | 6,4                                                          | 0,0                                                           | 6,4                              |
| Sjöar               | 51,1                                                         | 0,0                                                           | 51,1                             |

### 3.2.8. Mannings tal

På samma sätt som regnintensiteten har bestämts för varje marktyp, har en indelning även gjorts för marktypernas olika råhet. Råheten representeras av Mannings tal (M), vilket är ett mått på ytans skrovlighet (Schneider och Arcement, 1989). Exempelvis innebär ett stort värde på M en slätare yta och då att vattnet flödar lättare. Sambandet mellan M och flödeshastigheten kan ses i Mannings formel enligt ekvation 3 (Vägverket, 2008).

$$Q = A \cdot M \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{S} \quad (3)$$

Där  $Q$  = vattenflödet (l/s)

$A$  = våt tvärsnittsarea (m<sup>2</sup>)

$M$  = Mannings tal (m<sup>1/3</sup>/s)

$R$  = hydraulisk radie (m)

$S$  = markens lutning (‰)

Riktvärden för M i tabell 6 är hämtade från VVMB 310 (Vägverket, 2008). Marktypen ”öppen mark och skog” har fått ett relativt högt M då detta lager i ArcGIS mest representeras av parker med kort gräs samt vägkanter blandat med grusområden i de urbana områdena i Västerås. En karta, liknande terrängmodellen, med olika M för olika marktyper laddas därefter in i MIKE 21 Flow Model.

**Tabell 6.** Olika marktyper i modellen med respektive Mannings tal.

| Marktyp             | Mannings tal ( $m^{1/3}/s$ ) |
|---------------------|------------------------------|
| Bryggor             | 70                           |
| Idrottsplan         | 40                           |
| Byggnader           | 75                           |
| Vägar               | 75                           |
| Övriga vägar        | 70                           |
| Hydrografi          | 40                           |
| Bebyggelse          | 35                           |
| Öppen mark och skog | 30                           |
| Sjöar               | 40                           |

### 3.2.9. Simuleringstid

Simuleringarna bör pågå under tillräckligt lång tid för att regnvattnet ska hinna rinna till och ackumuleras i låglänta områden. Om simuleringen avbryts innan allt vatten har hunnit transporterats över området kan maximala värden på vattendjup och vattenhastigheter missas. För att uppskatta en rimlig simuleringstid antas allt vatten rinna på ytan. I ArcGIS kan då avrinningsområdets längsta rinnsträcka grovt beräknas utifrån de simulerade flödesvägarna. Denna sträcka är ungefär 4000 m. Detta divideras med vattnets hastighet, vilken enligt P90 kan sättas till 0,5 m/s för diken och rännstenar (Svenskt Vatten, 2004). Antagandet har här gjorts att ledningsnätet är fullt så vattnet rinner på markytan i en stadsmiljö. Den maximala rinntiden blir då 8000 s, eller ungefär 2 h och 15 min. För simulering av det framtida regnet med återkomsttiden 100 år har den totala simuleringstiden satts till 5 timmar för att säkerställa att vattnet hinner rinna till och ansamlas enligt den maximala rinntiden. Dock är det de första 3 timmarna som är mest relevanta och simuleringarna i känslighetsanalysen har därför simulerats för denna tid. Ett tidssteg på 0,3 sekunder har använts vid den ursprungliga simuleringen och resultaten för vattnets flödeshastighet och vattendjup har samlats var 30:e sekund för hela avrinningsområdet.

### 3.2.10. Känslighetsanalys av parametrar

Då det är många parametrar och filer som används i MIKE 21 Flow Model är det intressant att undersöka hur olika parametrar och indata påverkar resultaten. Tester har därför utförts på det valda sjukhusområdet där vissa inparametrar har varierats. Påverkan från markens råhet (M), vald regnintensitet samt påverkan från byggnaderna i terrängen har undersökts.

#### Mannings tal

Då M påverkar hur snabbt vattnet rinner på ytan (se ekvation 3) kan det vara intressant att undersöka hur stor betydelse denna parameter har på resultatet. I den ursprungliga simuleringen har olika värden på M använts för olika marktyper. Tre ytterligare simuleringar har gjorts där ett konstant värde på  $M = 20$ ,  $M = 40$  respektive  $M = 75$  har satts för alla marktyper. De minsta och högsta värdena på M representerar extrema värden där det lägre värdet på M indikerar att samhället består mestadels av grönområden och det högre värdet att samhället exploateras och i princip endast består av

hårdgjorda ytor så som hustak och vägar. Ett mellanting har även undersökts genom att sätt ett genomsnittligt värde på M. Betydelsen av de olika sätten att representera markens råhet kan därefter jämföras både med varandra och med den ursprungliga körningen med varierande värden på M beroende på marktyp. I alla simuleringar har ett regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter lagts in från start och den totala simuleringstiden har varat i 3 timmar.

### Olika regnintensiteter

För att undersöka hur olika regnintensiteter kan påverka mängden vatten som ansamlas i sjukhusområdet har simuleringar även gjorts med regn som motsvarar en återkomsttid på 200 respektive 1000 år med varaktigheten 30 minuter. En simulering har även gjorts med ett regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 1 timme. Vid längre tid återfås en lägre regnintensitet för samma återkomsttid. Regnintensiteterna anges som mm/dygn i MIKE 21 Flow Model, dock bestämmer regnets varaktighet den slutgiltiga vattenvolymen som faller. Som för regnet med återkomsttiden 100 år sätts även tiden för dessa regn till 30 minuter. Med hjälp av ekvation 2 beräknas den totala regnintensiteten som används i de olika simuleringarna, se tabell 7. För simulering med respektive regnintensitet har ett avdrag gjorts för vattenvolymen som maximalt ryms i ledningsnätet, på samma sätt som tidigare beskrivits. En klimatkfaktor på 1,15 har använts för alla framtida regnscenarier.

**Tabell 7.** De regnvolymer (mm/dygn) som används i modellen för regn med återkomsttiderna 100, 200 respektive 1000 år och med varaktigheten 30 minuter. I sista kolumnen finns även de regnvolymer som använts vid simulering av ett regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 1 timme. I raden längst ner ses den totala regnvolymer som maximalt simulerats vid respektive regn.

| Marktyp                       | Klassning | Regnintensitet (mm/dygn) för regn med olika återkomsttider |        |         |              |
|-------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------|--------|---------|--------------|
|                               |           | 100 år                                                     | 200 år | 1000 år | 100 år (1 h) |
| Brygggor                      | 1         | 828                                                        | 1144   | 2233    | 506          |
| Idrottsplan                   | 2         | 413                                                        | 572    | 1116    | 253          |
| Byggnader                     | 3         | 1554                                                       | 2187   | 4365    | 950          |
| Vägar                         | 4         | 1655                                                       | 2287   | 4465    | 1012         |
| Övriga vägar                  | 5         | 1655                                                       | 2287   | 4465    | 1012         |
| Hydrografi                    | 6         | 2454                                                       | 3087   | 5265    | 1506         |
| Bebyggelse                    | 7         | 620                                                        | 858    | 1674    | 380          |
| Öppen mark och skog           | 8         | 307                                                        | 386    | 658     | 188          |
| Sjöar                         | 9         | 2454                                                       | 3087   | 5265    | 1506         |
| <b>Total regnvolymer (mm)</b> |           | 51                                                         | 64     | 110     | 63           |

Betydelsen av ledningsnätets kapacitet för översvämningsrisken har också undersökts. Om ledningsnätet inte skulle fungera kan inget regnvatten ledas bort under marken, vilket ofta kan vara fallet vid extrema regnsituationer. Därför har en simulering gjorts för ett regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter och där inget

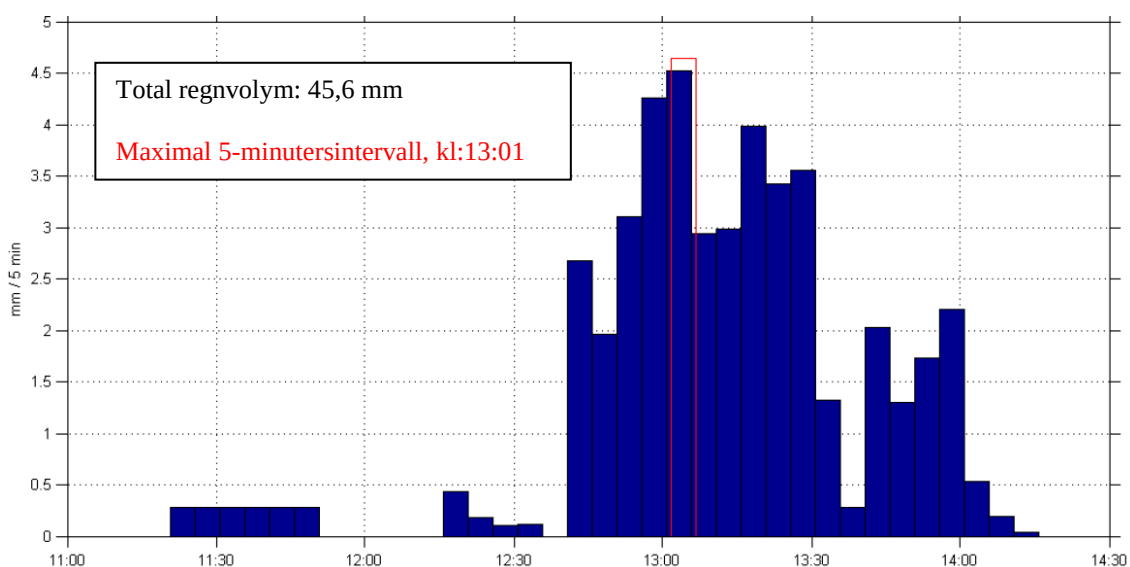
avdrag har gjorts för vattenvolymen som ryms i ledningsnätet. Detta genererar en högre regnintensitet på markytan.

### Terrängens betydelse

En simulering har även gjorts där endast marken finns med, det vill säga att inga byggnader har höjts upp i terrängmodellen. Detta kan ge en indikation på hur byggnader påverkar vattenflödet och vattendjupet vid framtida exploateringar. En terrängmodell utan upphöjda byggnader ger en terräng som inte är lika varierande, vilket kan ge mindre störningar i simuleringen, men är också en mer förenklad bild av verkligheten.

#### 3.2.11. Kontroll av modellen med uppmätt regn från skyfallet 8 juli 2012

Ett försök att kontrollera den hydrauliska modellen har gjorts genom att simulera skyfallet som inträffade den 8 juli 2012. Då regnmätaren som registrerade skyfallet låg i utkanten av området har två simuleringar utförts, en med det registrerade regnet från Mälarenergi och en med den inofficiella uppgiften från två boende i området om att 100 mm föll under 2 timmar. I figur 14 ses det uppmätta regnet från Mälarenergis station vid Grytarhögsgatan där totalt 45,6 mm registrerades under 3 timmar. Under den intensiva delen av skyfallet uppmättes 43 mm under 90 minuter (DHI, 2013).



**Figur 14.** Uppmätt regn från Mälarenergis station vid Grytarhögsgatan från skyfallet 8 juli 2012, modifierad efter DHI (2013). Den röda stapeln visar när den maximala volymen uppmättes.

Det uppmätta regnet har registrerats var femte minut. Då volymerna är olika vid varje registrering behöver därför olika regnfiler laddas in i MIKE 21 Flow Model med fem minuters intervall. Regnet har satts till start kl. 12.40 och pågår därefter under 90 minuter. Den totala volymen för regnet blir då ungefär lika stor som den beräknade volymen i figur 14. På grund av den troligen felaktigt låga regnintensiteten som mätaren har uppmätt vore det inte rimligt att göra avdrag för ledningsnätets kapacitet då det skulle resultera i att den totala regnintensiteten i modellen blir nära noll. Totalt pågår körningen i drygt 3,5 timmar.

För den andra kontrollen har ett regn med en konstant intensitet på totalt 100 mm under 2 timmar lagts in. Här har ett avdrag gjorts för den vattenvolym som ryms i ledningsnäten med återkomsttiden 10 år och varaktigheten 2 timmar. Totalt pågår körningen i drygt 4,5 timmar.

De regn som är inlagda i modellen varierar som tidigare utifrån marktyp. Marktyperna har redigerats i terräng-, M- samt regnintensitetsfilerna för att överensstämma med hur området såg ut år 2012. Detta innebär att den planerade sjukhusbyggnaden har tagits bort samt att den rivna sjukhusbyggnaden har återinförts i simuleringen då denna kommer rivas år 2015. En jämförelse av resultatet från MIKE21 Flow Model kan därefter göras med de översvämmade områden som finns markerade i figur 7. Ingen klimatfaktor har använts vid dessa simuleringar.

### **3.2.12. Jämförelse med SMHI:s lågpunktskartering**

Resultaten från simuleringen i MIKE 21 Flow Model har även jämförts med SMHI:s lågpunktskartering över samma område. Regnet med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter har använts vid denna jämförelse. I ArcGIS kan dessa resultat läggas som olika lager på varandra där områden som både är lågpunkter i terrängen och som översvämmas kan undersökas. En uppskattning har även gjorts över hur många samhällsviktiga objekt som drabbas vid respektive tillvägagångssätt. Slutligen har lågpunktskarteringen även jämförts med de översvämmade ytorna från regn med återkomsttiden 200 respektive 1000 år i ArcGIS för att få en uppfattning om vilken regnsituation som lågpunktskarteringen representerar.

## **4. RESULTAT**

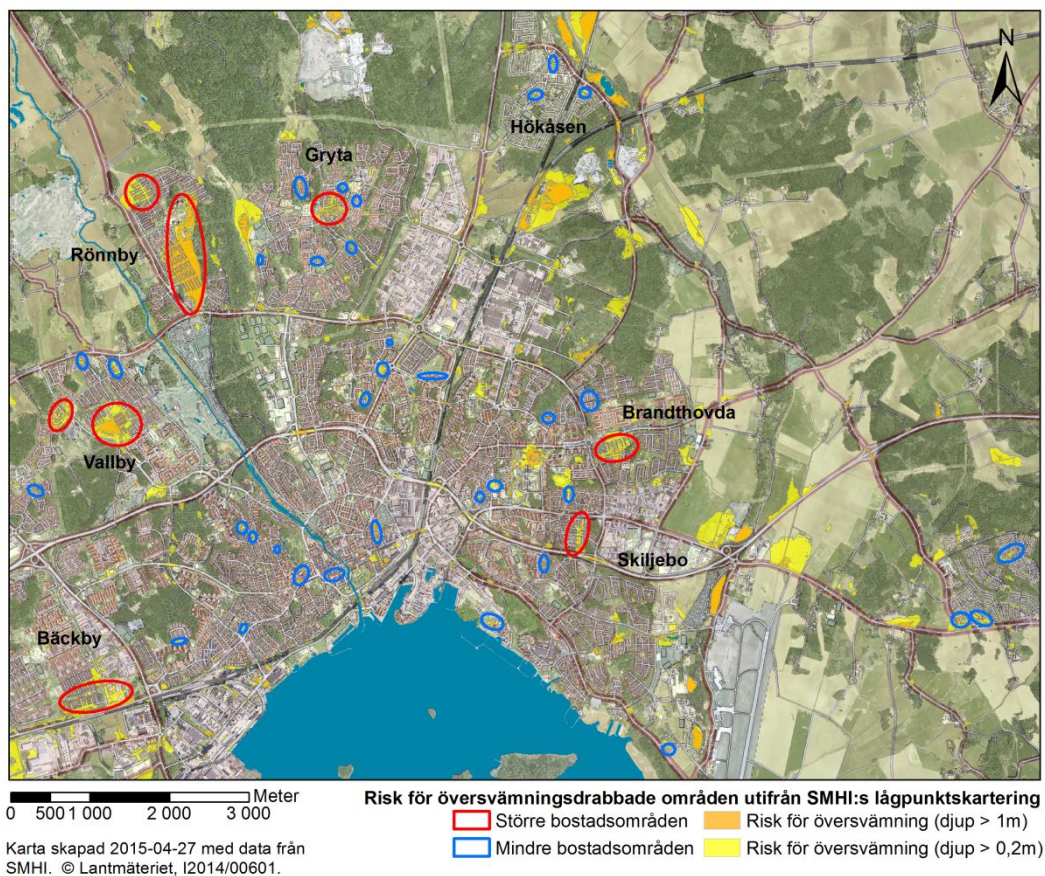
### **4.1. ÖVERSIKTLIG KARTERING AV VÄSTERÅS TÄTORT**

Utifrån SMHI:s lågpunktskartering har flera lågpunktsområden där vatten kan ansamlas påträffats i Västerås tätort med omnejd. I många av dessa områden finns även skyddsvärda och samhällsviktiga objekt. Nedan ses några utvalda kartor över viktiga objekt som riskerar att drabbas av översvämningar vid skyfall. Fler kartor finns i bilaga 2-6. De områden som har prioriterats vid undersökningen är de som riskerar att drabbas av minst 1 m översvämning.

#### **Bostadsområden**

Bostadsområden som är lågt belägna, och då riskerar att översvämmas vid skyfall, är indelade i större och mindre områden, se figur 15. De större bostadsområdena är markerade med röda ringar och ligger till stora delar under 1 m djup. Bostadsområden som kan drabbas i mindre utsträckning är inringat med blå färg. Bostadsområdena Bäckby, Vallby, Rönaby, Gryta, Skiljebo och Brandthovda riskerar att drabbas hårt vid ett skyfall. Detaljerade kartor över dessa områden ses i bilaga 2. Utifrån Google Maps kan det ses att gemensamt för dessa bostadsområden är tät bebyggelse med många odikade vägar. SMHI:s kartering visar även att många innergårdar kan drabbas av översvämning. Totalt antal bostadsområden som riskerar att drabbas i större utsträckning vid skyfall:

- 8 större bostadsområden
- 35 mindre bostadsområden



**Figur 15.** Större och mindre bostadsområden som riskerar att drabbas av översvämningar från skyfall med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering.

### Vägar och järnväg

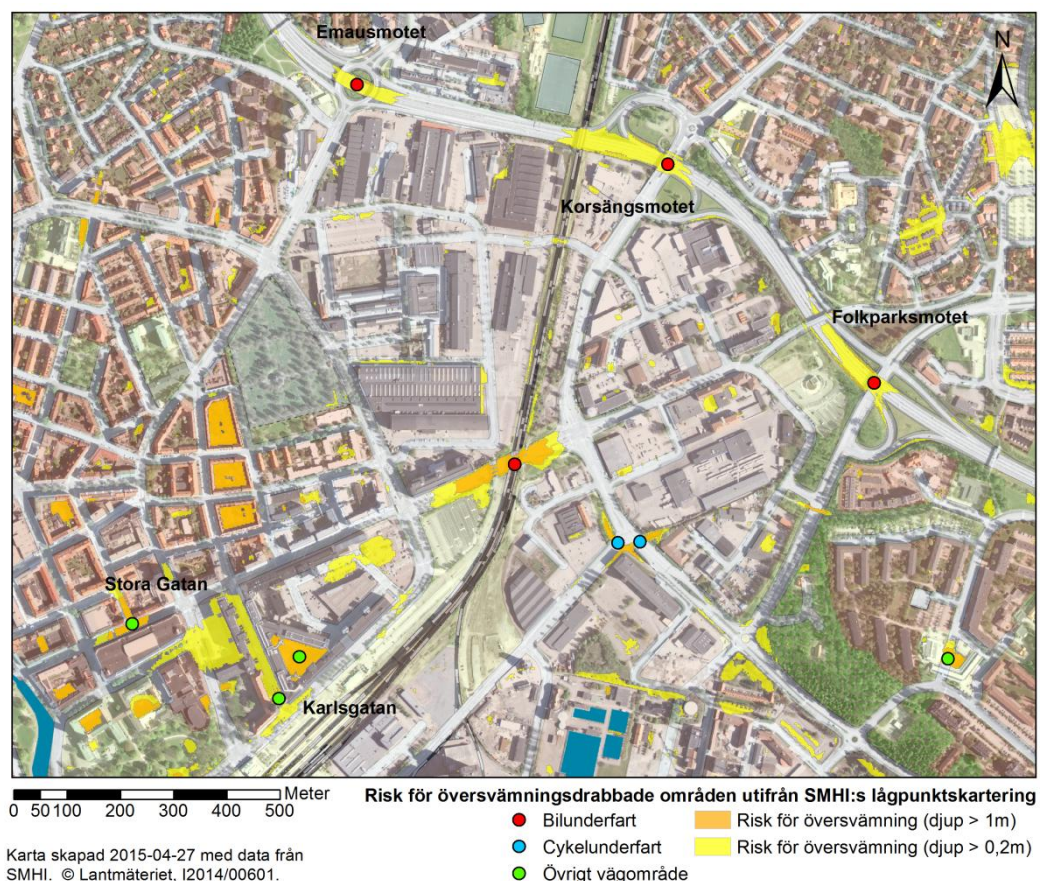
Många vägar i tätorten ligger i lågpunktsområden. Bland annat riskerar E18 att översvämmas på flera ställen, exempelvis vid Rocklundamotet, Talltorpsmotet, Folkparksmotet, Korsängsmotet samt vid Emausmotet som även översvämmades från skyfallet 2011. Då många vägunderfarter ligger i riskområden har dessa delats in i underfarter för bilar (markeras med röda punkter) samt underfarter för cyklister och fotgängare (markeras med blå punkter). Gemensamt för cykelunderfarterna är att det oftast saknas diken och brunnar i närheten. Övriga vägområden längs vägar, exempelvis där det finns grunda eller obefintliga diken nära vägen som troligen inte kommer kunna ta hand om allt regnvatten, har markerats med gröna punkter. Hit hör även de vägar som ligger vid vattendrag som riskerar att svämma över. Låga områden där järnvägsvallen riskerar att översvämmas vid skyfall har markerats med lila punkter. Risk för att järnvägsvallen ska drabbas vid skyfall finns främst kring stationsområdet vid Terminalvägen samt på flera ställen av järnvägen längs Mälaren från centrum och vidare västerut mot Hacksta. Alla stora vägunderfarter och järnvägsvallar finns utmarkerade med punkter, se bilaga 3, dock bara de cykelunderfarter som riskerar att



drabbas värst på grund av det stora antalet låglänta cykelunderfarter. Totalt antal vägar och järnvägar som har upptäckts som potentiella riskområden för översvämning:

- 18 bilunderfarter
- 80 cykelunderfarter (i figurerna i bilaga 3 redovisas endast de 55 underfarter som riskerar att översvämmas mest)
- 44 övriga vägområden
- 12 platser längs järnvägen

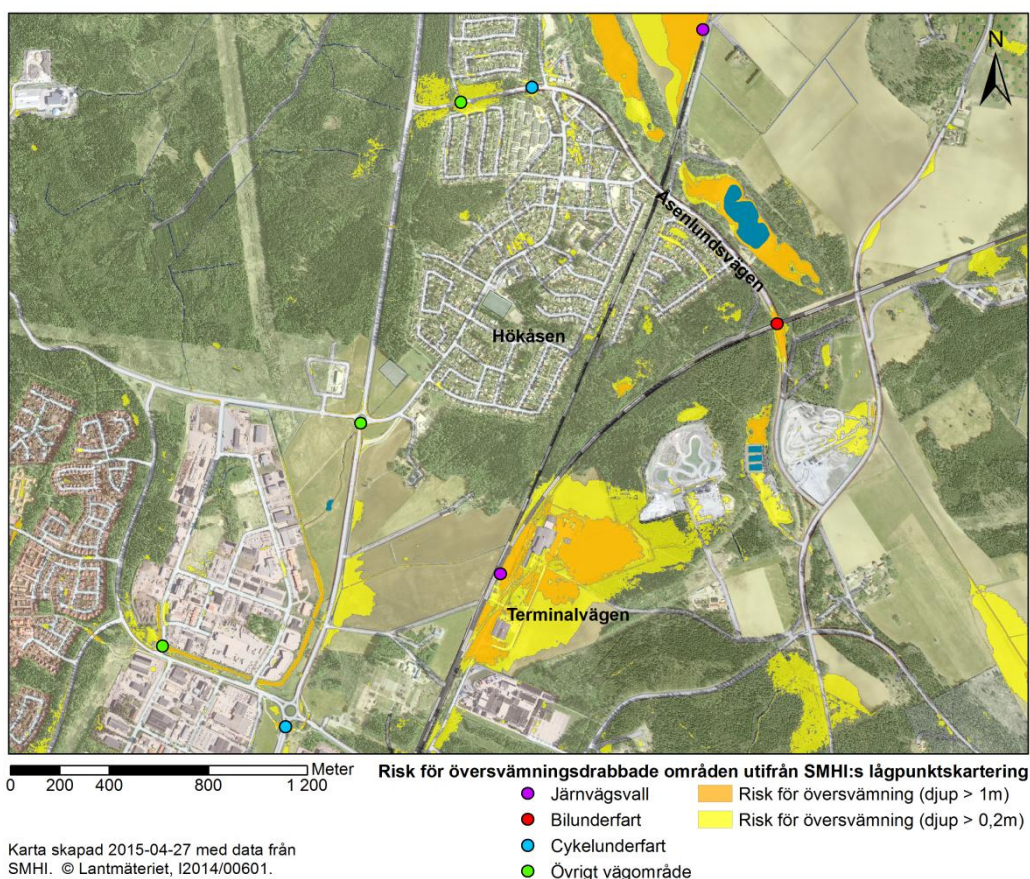
I figur 16 ses en sträcka längs E18 där Emausmotet, Korsängsmotet samt Folkparksmotet riskerar att översvämmas. Den sista bilunderfarten som är markerad i figuren är Pilgatan som går under järnvägsspåret. Här ses även att cykelunderfarten under korsningen Kungsängsgatan och Björnövägen, delar av Stora Gatan, Karlsgatan samt att innergården vid Ingenjör Bååths gata riskerar att översvämmas.



**Figur 16.** Exempel på några stora vägunderfarter längs E18, cykelunderfarter och övriga vägområden som riskerar att drabbas vid skyfall med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering.

Ett till exempel ses i figur 17 där en lågt liggande järnvägsvall i stationsområdet vid Terminalvägen riskerar att översvämmas vid skyfall. Norr om Hökåsen finns också ett stort låglänt område med en lågt liggande del av banvallen. Österut riskerar Åsenlundsvägen att översvämmas där vägen går under järnvägsspåret. För övriga vägområden i närheten av vattendrag finns också en risk för översvämning.





**Figur 17.** Exempel på några delar längs järnvägsvallen samt cykelunderfarter och övriga vägområden i närheten av Hökåsen som riskerar att drabbas vid skyfall med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering.

Översiktliga kartor över hela Västerås, samt några utvalda intressanta områden, kan ses i bilaga 3.

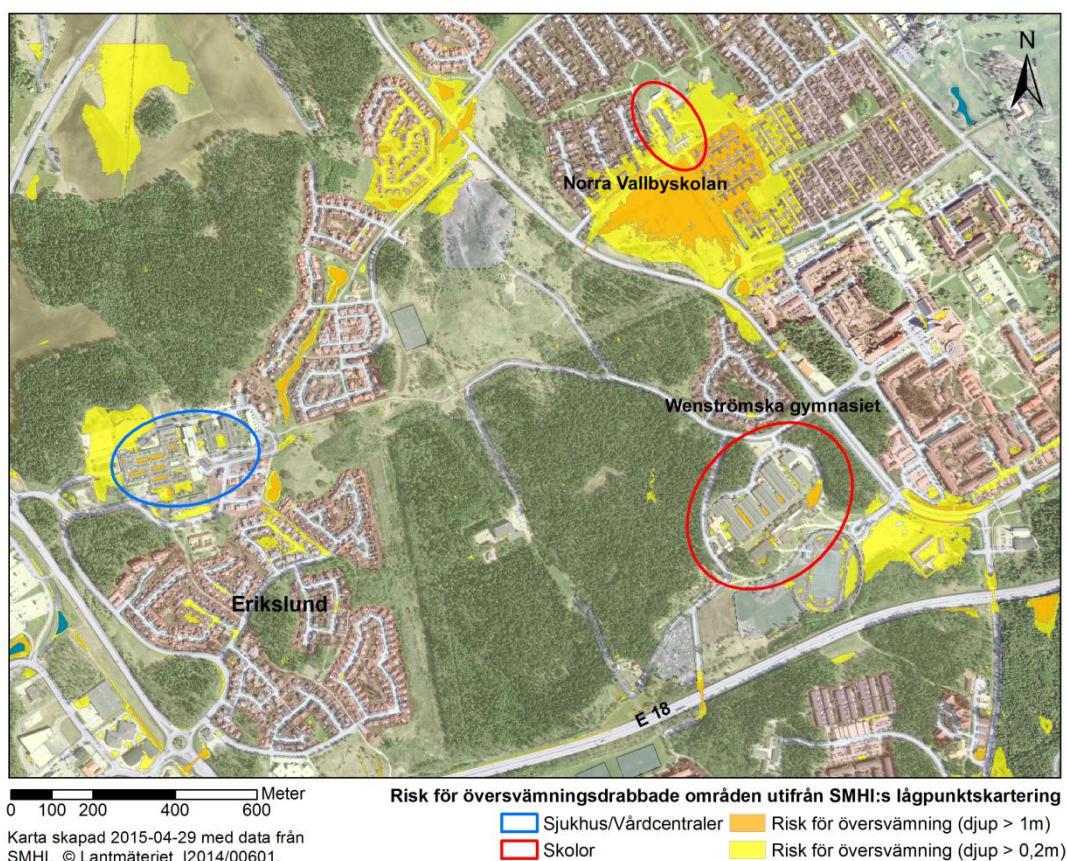
### Skolor, sjukhus och vårdcentraler

Flera byggnader ligger i låglänta områden och risken finns att många innergårdar kan översvämmas vid skyfall. En uppdelning har gjorts av byggnader med samhällsviktiga funktioner där skolor, vårdcentraler och sjukhus har undersökts. De byggnader som har upptäckts ligga i lågpunktsområden är:

- 3 sjukhus/vårdcentraler
- 20 skolor

De byggnader som riskerar att drabbas i störst utsträckning är sjukhuset, Erikslunds hälsocentral, Rönnbyskolan, Norra Vallbyskolan och Skiljeboskolan. Innergårdar vid Skallbergsskolan, Mälardalens Högskola och Viksängsskolan kan också översvämmas i stor utsträckning.

Ett exempel på samhällsviktiga byggnader i lågpunktsområden ses i figur 18. Ytterligare exempel återfinns i bilaga 4, där även en översiktskarta över samhällsviktiga byggnader i hela Västerås tätort finns.

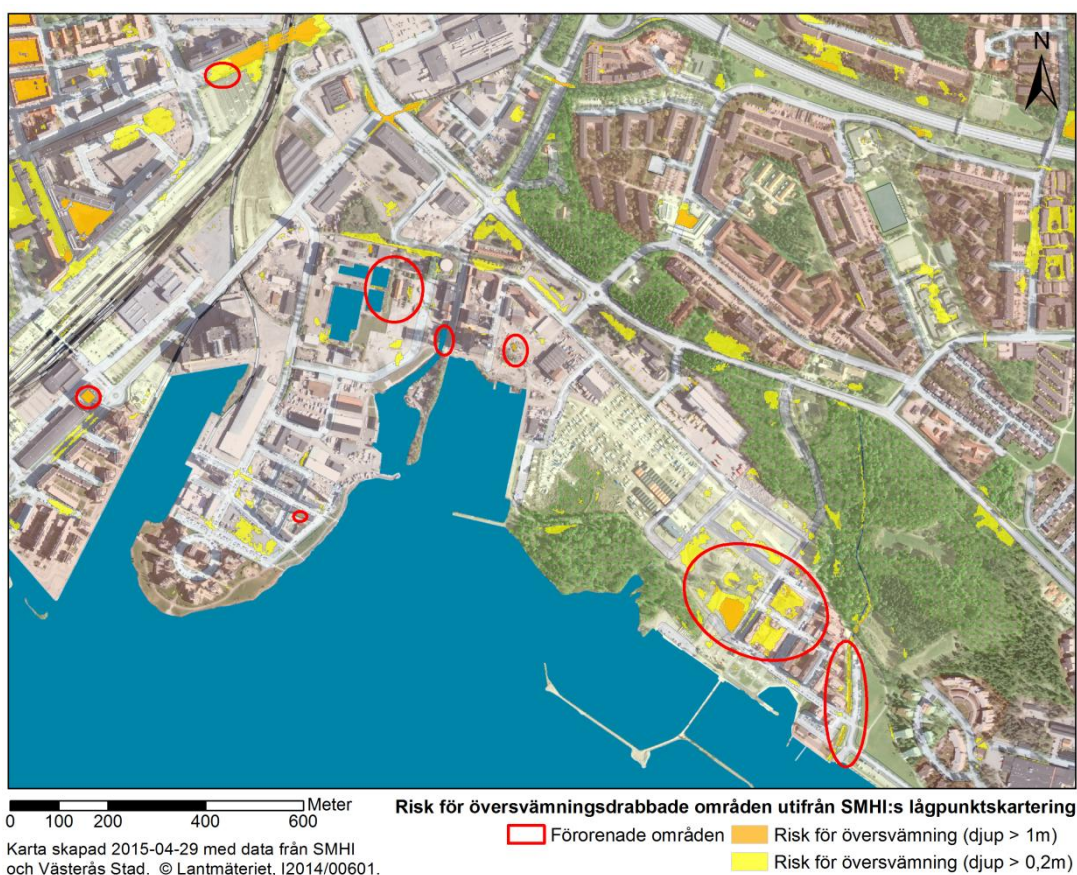


**Figur 18.** Hälsocentralen i Erikslund, Wenströmska gymnasiet samt Norra Vallbyskolan riskerar att översvämmas vid skyfall med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering.

### Förorenade områden

Vid jämförelsen av lågpunktsområden mot de förorenade områden som finns utmarkerade har 19 förorenade platser upptäckts där vatten kan ansamlas. Exempel på detta är vid hamnen i de centrala delarna av tätorten där föroreningar har påträffats, se figur 19. Fler förorenade områden som ligger i lågpunktsområden ses i bilaga 5.

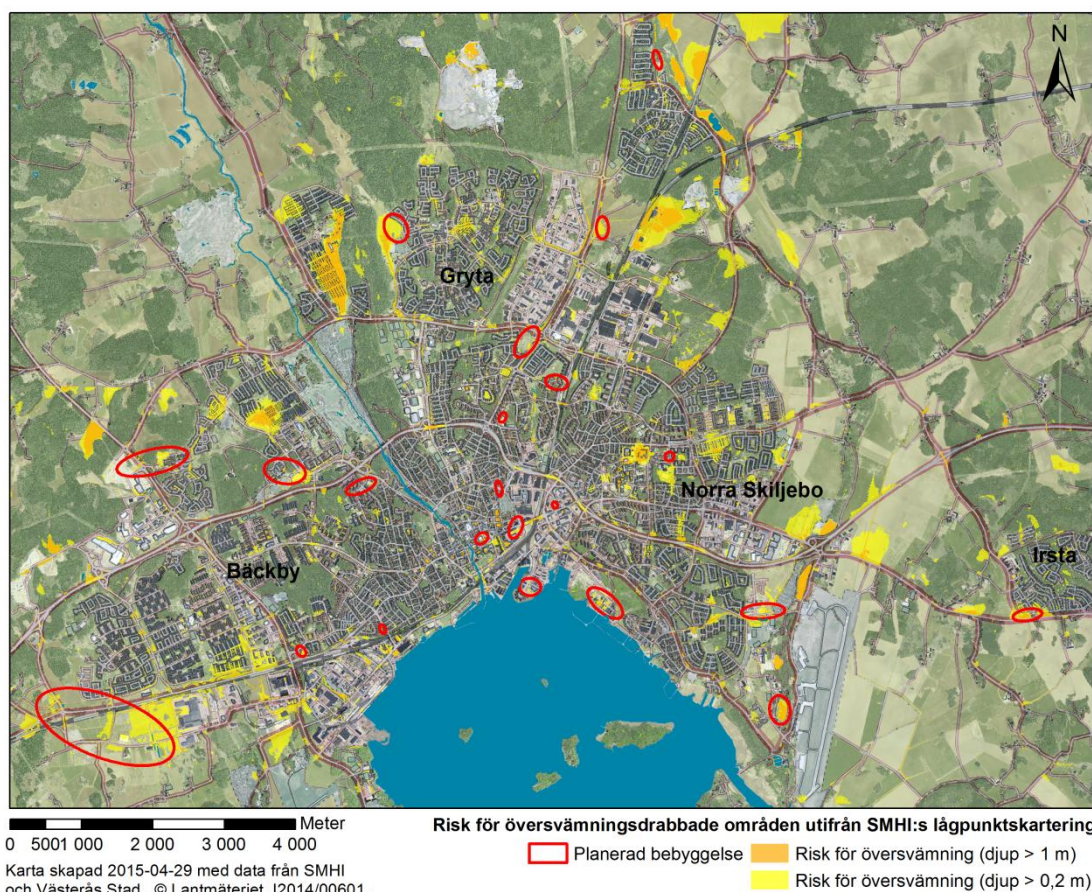




**Figur 19.** Flera områden som riskerar att översvämmas enligt SMHI:s lågpunktskartering finns nära förorenad mark.

### Planerad bebyggelse

Uppgifter om planerad bebyggelse (både bostäder och näringslivsmark) från Västerås kommun har analyserats utifrån SMHI:s lågpunktskartering. En sammanslagning har gjorts av de byggnadsplaner som både har trätt i laga kraft och de som är uppe för diskussion. I figur 20 har områden ringats in där planerad bebyggelse förekommer i eller i närheten av lågpunktsområden och som då skulle kunna påverkas av skyfall. Där det planeras nybyggnationer vid Gryta och i Irsta, ligger stora delar av dessa områden i lågpunktsområden som riskerar att översvämmas. I Norra Skiljebo planeras nya byggnader på mark som ligger nära stora lågpunktsområden som även tidigare har drabbats av översvämnningar vid skyfall.



**Figur 20.** Områden där nya byggnationer planeras och som riskerar att översvämmas enligt SMHI:s lågpunktskartering.

### Pumpstationer och nätstationer

En undersökning har gjorts för att ta reda på om prioriterade pumpstationer och nätstationer från Mälarenergi finns i lågpunktsområden. Endast två av pumpstationerna (i Bäckby samt i Irsta) finns inom gränserna för SMHI:s lågpunktskartering, dock ligger båda dessa i stora lågpunktsområden, vilket är ett naturligt läge för pumpstationer. Vid gränsen av SMHI:s kartering mot Tillberga finns det ett stort lågpunktsområde där en pumpstation finns i närheten, dock ligger den strax utanför karterat område. Kartor på dessa områden återfinns i bilaga 6.

Totalt ligger 68 nätstationer i eller i närheten av lågpunktsområden. Dessa har delats in i de som ligger i mindre lågpunktsområden ( $250 - 10\,000\text{ m}^2$ ) samt de som ligger i större lågpunktsområden ( $> 10\,000\text{ m}^2$ ). De som ligger i eller i närheten av ännu mindre lågpunktsområden ( $< 250\text{ m}^2$ ) redovisas inte. Nätstationerna som befinner sig i eller i närheten av de största lågpunktsområdena är:

- 2 finns i större lågpunktsområden med ett djup  $> 1\text{ m}$
- 13 finns i större lågpunktsområden med ett djup  $> 0,2\text{ m}$
- 4 finns i mindre lågpunktsområden med ett djup  $> 1\text{ m}$
- 27 finns i mindre lågpunktsområden med ett djup  $> 0,2\text{ m}$

En karta över de nätstationer som befinner sig i karterade lågpunktsområden med en area  $> 10\,000\text{ m}^2$  ses i bilaga 6.

## **4.2. SJUKHUSOMRÅDET**

Simuleringarna av skyfall över sjukhusets avrinningsområde visar att mycket vatten ansamlas på flera platser. I många av dessa områden finns även skyddsvärda och samhällsviktiga objekt. Resultaten visar främst var ett regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter ansamlas, men även hur regn med längre återkomsttid påverkar samhället. Några övriga parametrar som kan påverka markavrinningen har också undersökts, samt hur väl simuleringar med uppmätt samt uppskattat regn från den 8 juli 2012 stämmer överens med de områden som enligt uppgift från Mälarenergi översvämmades vid detta tillfälle.

### **4.2.1. Resultat från MIKE 21**

Vid simulering av ett regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter framkom att vatten ansamlas med ansevärt djup eller i större områden i flera delar av det simulerade området. En analys har gjorts över sjukhusområdet och över några ytterligare områden där simuleringen resulterade i stora översvämmade ytor eller platser med stora vattendjup. De områden som har undersökts vidare ses i figur 21 där vattendjup på minst 0,1 m som ansamlas under hela simuleringstiden (5 timmar) redovisas. Ingen ytterligare indelning har gjorts i figurerna för vattendjup  $> 1\text{ m}$  på grund av högre osäkerheter vid större vattendjup. På sjukhusområdet har tre områden som översvämmas i stor utsträckning valts ut för vidare analys av simuleringresultaten:

- Sjukhus 1 – i nordöstra delen av sjukhusområdet där bland annat ätstörningsmottagningen och Sundinska Vretens förskola ligger.
- Sjukhus 2 – i områdets nordvästra del där bland annat godsmottagning, logistikverksamhet och drift finns.
- Sjukhus 3 – i det här området kommer en ny byggnad upprättas och idag finns här bland annat akutmottagning, förlossningsavdelning och blodcentral.

Längs vissa vägsträckor kan mycket vatten ansamlas, några av dessa har därför valts att analyseras vidare:

- Väg 1 – där Hästhovsgatan går under järnvägen, obefintliga vägdiken
- Väg 2 – Korsängsmotet där E18 går under Malmabergsgatan
- Väg 3 – Folkparksmotet där E18 går under Mälarstrandsgatan
- Väg 4 – där Pilgatan går under järnvägen, obefintliga vägdiken

En viktig funktion för samhället som riskerar att översvämmas vid skyfall har också valts ut:

- Skola – Viksängsskolan i Viksäng





**Figur 21.** Resultat från simulering med regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter. Kartan visar skyfallets vattendjup i avrinningsområdet och vilka områden som valts för vidare analys.

En sammanställning av de maximala vattendjupen i respektive område ses i tabell 8. De största vattendjupen återfinns vid akutingången och där Pilgatan går under järnvägen. Områden kring Skola och Sjukhus 1 översvämmas med ett mindre djup, men dock är det stora ytor som översvämmas. Maxdjupen gäller för denna typ av skyfall och för hela simuleringstiden (5 timmar). I tabellen anges också den tidpunkt då maxdjupen i respektive område uppnås.

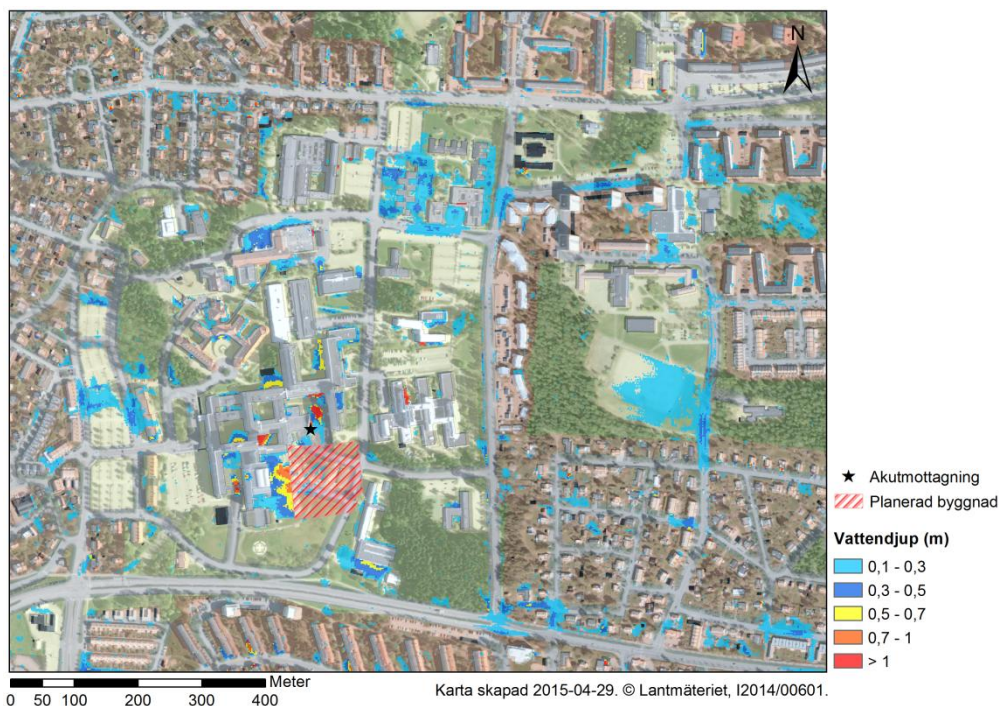
**Tabell 8.** Maximala vattendjup (m), samt tidpunkt för dessa (min), inom några olika områden som följd av skyfallet.

| Område    | Maximalt vattendjup (m) | Tid vid maximalt vattendjup (min) |
|-----------|-------------------------|-----------------------------------|
| Sjukhus 1 | 0,5                     | 300                               |
| Sjukhus 2 | 2,5                     | 24                                |
| Sjukhus 3 | 3,9                     | 34                                |
| Väg 1     | 2,0                     | 296                               |
| Väg 2     | 1,8                     | 73                                |
| Väg 3     | 1,3                     | 76                                |
| Väg 4     | 3,4                     | 300                               |
| Skola     | 0,5                     | 300                               |

Några övriga områden där vatten ansamlas med ett maximalt djup på minst 1 m är:

- bostadshus vid Gunnilbogatan
- bostadshus vid korsningen Björskogsgatan/Stentorpsgatan
- cykelunderfart under Österleden vid Östra Malmaberg
- cykelunderfart under järnvägen vid Sandgärdet
- kring industribyggnader i Ängsgärdet
- cykelunderfart under korsningen Kungsängsgatan/Björnövägen
- cykelunderfart under Österleden vid Mälarparken
- längs bäcken i Mälarparken

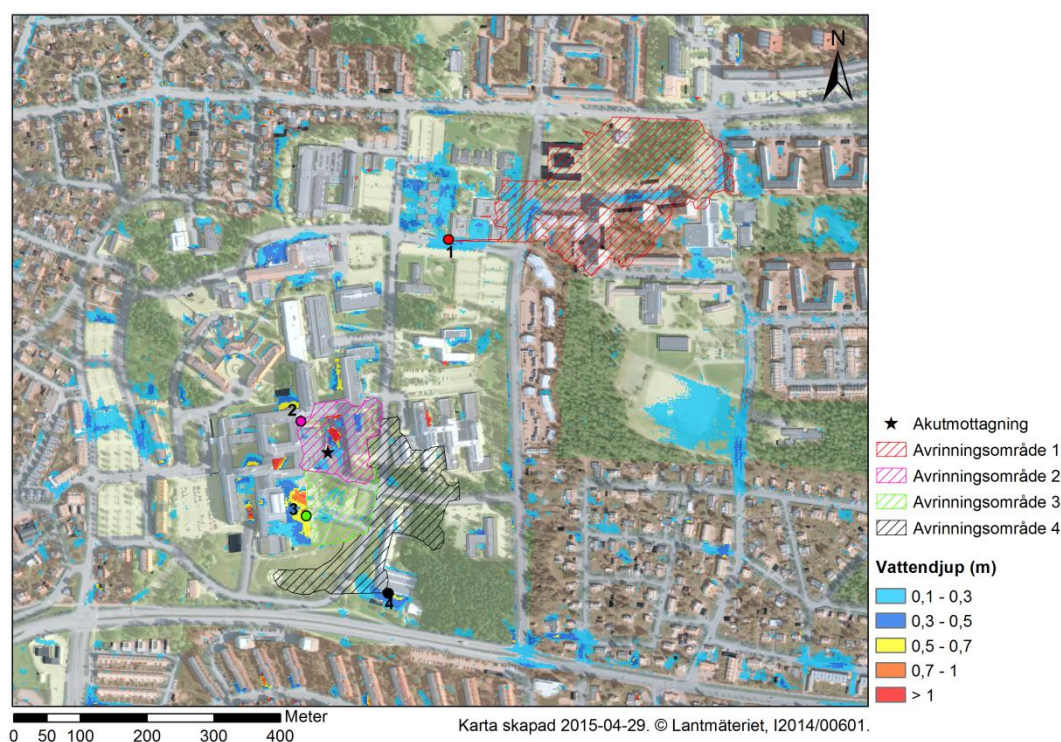
En tydligare bild över sjukhusområdet ses i figur 22. Här ses att området till vänster om den planerade sjukhusbyggnaden i stort sett vattenfylls och att regnvattnet även ansamlas i flera av innergårdarna.



**Figur 22.** Resultat från simulering med regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter. Kartan visar skyfallets vattendjup kring sjukhusområdet.



Med hjälp av ArcGIS har vattnets möjliga rinnvägar undersökts. Utifrån dessa kan avrinningsområden tas fram för valda punkter i terrängen för att se var vattnet i en lågpunkt kommer ifrån. Avrinningsområden för vissa punkter kring sjukhusområdet kan ses i figur 23. Dessa avrinningsområden har kontrollerats med flödesvägarna i MIKE 21 för att undersöka om de möjliga rinnvägarna i ArcGIS stämmer överens med hur vattnet faktiskt rinner i modellen. Överlag verkar vattnet i de utvalda punkterna ansamlas från dessa avrinningsområden. I punkt 3 tillkommer dock vatten även från innergården öster om punkten och inte bara från den yta där den planerade sjukhusbyggnaden ska stå. Enligt flödesvägarna i MIKE 21 fortsätter även vattnet i punkt 4 delvis att rinna sydöst mot Stockholmsvägen. Utöver vatten från avrinningsområdet till punkt 1 tillkommer enligt simuleringarna även vatten från byggnadsområdet rakt norr om punkten.



**Figur 23.** Resultat från simulering med regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter. Kartan visar skyfallets vattendjup kring sjukhusområdet samt beräknade avrinningsområden från ArcGIS för några utvalda punkter.

Utöver de värst drabbade områdena som nämnts ovan har en sammanställning gjorts här nedan över några viktiga objekt som ligger inom sjukhusets avrinningsområde och som enligt simuleringarna kommer översvämmas vid ett skyfall med återkomsttiden 100 år.

### Bostadsområden

I Östra Malmaberg ansamlas vatten kring flera bostadshus med ett vattendjup  $> 1$  m. I Hemdal, Skiljebo och Haga ansamlas vattnet på stora ytor men maxdjupet ligger mestadels på 0,5 m. Vid Sandgärdet, norr om Korsängsmotet (Väg 2), och vidare nordöst längs Malmabergsgatan ligger stora delar av bostadsområdet under ett par dm vattendjup. Vid Klockartorp kan vatten ansamlas på vissa ställen upp till 1 m djup, dock ligger maxdjupet mestadels runt 0,5 m även här.

## **Vägar och järnväg**

Då vattnet ansamlas på många olika platser i avrinningsområdet är det många vägar som riskerar att översvämmas i olika stor utsträckning och med olika djup. Från en analys av resultaten ses att närmare 100 olika stora områden intill vägar översvämmas med minst 1 m djup, varav sex stycken översvämmas med en area på minst 100 m<sup>2</sup>. Störst område har den del av Pilgatan som går under järnvägen (Väg 4) där drygt 3000 m<sup>2</sup> översvämmas. Ytterligare en vägunderfart under järnvägen som översvämmas i stor omfattning är Hästhovsgatan (Väg 1). Två av de områden som översvämmas med minst 1 m över en area på minst 100 m<sup>2</sup> är cykelunderfarter där den ena går under Österleden vid Östra Malmaberg och den andra befinner sig vid korsningen Kungsängsgatan/Björnövägen väster om Väg 4. Den väg som leder in till sjukhusets akutgång översvämmas med minst 1 m över en area på ungefär 150 m<sup>2</sup> och där är det maximala översvämningsdjupet betydligt mer än 1 m. Den sista av dessa sex vägområden som översvämmas med minst 1 m över en stor yta är Korsängsmotet (Väg 2). En del vatten ansamlas även längs kanterna av E18 mellan Folkparksmotet (Väg 3) och Talltorpsmotet samt längs Björnövägen. Flera cykelunderfarter översvämmas också i simuleringen av detta skyfall. En cykelunderfart vid Mälarparken som går under Österleden översvämmas med ett djup långt över 1 m. Längs Viksängsgatan drabbas flera cykelunderfarter där det maximala vattendjupet uppgår till ungefär 1 m. Under järnvägen vid Sandgårdet finns en cykelunderfart som översvämmas med ett maximalt djup > 1 m. Vid korsningen Österleden/Bjurhovdagatan finns en cykelunderfart som översvämmas med ett djup på ungefär 1 m.

## **Skolor, sjukhus och vårdcentraler**

Som tidigare nämnts kommer enligt simuleringarna områden kring Viksängsskolan att översvämmas. Söder om skolan ligger även en hälsocentral där vatten på vissa platser kan ansamlas med ett par dm. Områden intill Korsängsskolan riskerar att översvämmas upp till 1 m. Mindre områden vid Malmabergsskolan kan översvämmas upp till ett par dm. Emausskolan ligger i närheten av översvämmat område norr om Väg 2 där vattendjupet kan nå upp till 0,5 m. I figur 22 ses att stora delar av sjukhusområdet, där även en förskola ligger, kommer att översvämmas och då med ett vattendjup som på många platser överstiger 1 m.

## **Förorenade områden**

För regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter förekommer översvämnningar på flera ställen inom sjukhusets avrinningsområde där marken är förorenad. Längs järnvägen söder om Korsängsmotet (Väg 2) finns ett stort förorenat område som bitvis översvämmas, dock förväntas vattendjupet mestadels hålla sig under 0,5 m. Här flödar vattnet med låg hastighet, i de flesta fall under 0,1 m/s. Ett vattendjup under 0,5 m gäller även för förorenad mark i hamnområdet vid Munkängen samt vid Notudden där regnet kan ansamlas. Simuleringen visar samma låga vattenhastighet i dessa områden som vid Väg 2.

### **Planerad bebyggelse**

Pågående detaljplaner finns för ett bostadsområde mellan Nordanby och Norra Haga där simuleringarna visar att delar av området översvämmas med upp till 1 m vatten. Vid de översvämmade områdena i Ängsgärdet och Östermalm planeras också ny bebyggelse. Detaljplaner finns även för centrala hamnområdet där stora områden översvämmas upp till ett par dm. Vid östra Mälarhamnen riskerar också områden med planerad bebyggelse att översvämmas. Området kring bäcken som rinner från Mälarparken och vidare genom det planerade området kommer översvämmas med närmare 1 m på de flesta ställen längs bäcken.

### **Pumpstationer och nätstationer**

Några av de nätstationer som ligger i översvämmade områden (upp till 0,5 m) är den i Bjurhovda längs Arkeologgatan, en längs Harpungatan, fyra nätstationer kring industribyggnader väster om järnvägen vid Korsängsmotet (Väg 2), en i Viksäng i närheten av Folkparksmotet (Väg 3) samt en nätstation i centrala hamnområdet längs Gasverksgatan. En nätstation som drabbas kraftigare av skyfallet (översvämmas upp till 1 m) är den vid Skälängsgatan i Sandgärdet.

Ingen pumpstation som enligt Mälarenergi klassas som prioriterad ligger inom det simulerade området.

### **4.2.2. Parametrarnas betydelse**

#### **Mannings tal**

En jämförelse har gjorts av vilka ytor som översvämmas när Mannings tal ( $M$ ) varierar. Det är de maximala vattendjupen under hela simuleringstiden (3 timmar) som använts för jämförelsen, dock redovisas endast de ytor som översvämmas med minst 0,1 m. Resultaten från simuleringarna med konstant  $M$  (20, 40 respektive 75) för hela området har jämförts med resultatet från den ursprungliga simuleringen där  $M$  varierade med marktypen i området (kallas här för "Varierande  $M$ "). För att resultaten ska vara jämförbara har de maximala vattendjupen från ursprungssimuleringen med varierande  $M$  också tagits från de tre första timmarna. Alla simuleringar är med ett regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter. En jämförelse har även gjorts mellan de två extrema värdena på  $M$ .

I figur 24 ses vilka ytor kring sjukhusområdet som översvämmas både när  $M$  varierar med marktypen och när  $M$  har ett konstant värde på 20 (kallas i figurerna för "Båda"). Översvämningsens maximala utbredning under hela simuleringstiden redovisas, dock visas endast de vattendjup som är på minst 0,1 m. I figuren markeras även vilka områden som bara översvämmas vid respektive simulering. Här ses att vid en simulering med  $M = 20$  får översvämnningen en större utbredning i vissa områden kring själva sjukhusbyggnaderna. De tre områden där skillnaden är störst markeras i figuren. Den maximala utbredningen uppnås mot slutet av körningen för alla dessa områden vid simuleringen med  $M = 20$ . Generellt visar simuleringarna att varierande  $M$  inte ger större utbredning än  $M = 20$  mer än vid ett fåtal mycket små områden.



**Figur 24.** Översvämmad yta (minst 0,1 m) vid både varierande värden på M samt med ett konstant värde på 20. De områden som endast översvämmas vid varierande M respektive M = 20 finns också utmarkerade samt vilka områden som har störst variation i översvämmad yta mellan de två simuleringarna.

I figur 25 ses vilka ytor kring sjukhusområdet som översvämmas både vid varierande värden på M och M = 40. I figuren markeras även vilka områden som bara översvämmas vid respektive simulering. Här ses att ungefär samma ytor översvämmas i båda simuleringarna. Tiden för översvämningsens maximala utbredning är vid 30 – 50 minuter för område 2 och 3 (se figur 24) samt vid maximal simuleringstid för område 1.



**Figur 25.** Översvämmad yta (minst 0,1 m) vid både varierande värden på M samt med ett konstant värde på 40. De områden som endast översvämmas vid varierande M respektive M = 40 finns också utmarkerade.

I figur 26 jämförs de översvämmade ytorna kring sjukhusområdet vid ett varierande M med ett konstant M på 75. I figuren markeras även vilka områden som bara



översvämmas vid respektive simulering. Vid  $M = 75$  överskattas arean som översvämmas något jämfört med varierande  $M$ , dock inte i lika stor utsträckning som vid  $M = 20$ . I område 2 (från figur 24) uppnås maximala utbredningen efter 15 – 30 minuter och för område 1 och 3 mot slutet av simuleringen.



**Figur 26.** Översvämmad yta (minst 0,1 m) vid både varierande värden på  $M$  samt med ett konstant värde på 75. De områden som endast översvämmas vid varierande  $M$  respektive  $M = 75$  finns också utmarkerade.

En jämförelse har även gjorts av översvämmade ytor vid  $M = 20$  respektive  $M = 75$ , se figur 27 där översvämmade ytor kring sjukhusområdet visas. Totalt översvämmas betydligt större ytor i vissa delar av området vid det lägre värdet på  $M$ .



**Figur 27.** Översvämmad yta (minst 0,1 m) vid ett lågt respektive högt konstant värde på  $M$  (20 respektive 75). De områden som endast översvämmas vid  $M = 20$  respektive  $M = 75$  finns också utmarkerade.



Då M påverkar hur snabbt vattnet rinner på ytan innebär det att vattnet hinner transporteras olika långt efter viss tid. Därför har översvämmade ytor vid olika M även jämförts efter exakt 1 timme och inte för bara totalt under hela simuleringstiden.

Den relativa procentuella skillnaden i den yta som översvämmas med minst 0,1 respektive 0,5 m vid de konstanta värdena på M jämfört med den översvämmade ytan vid varierande M kan ses i tabell 9. Den yta som menas är den totala ytan över hela avrinningsområdet. Både skillnaden i ytans utbredning efter den totala simuleringstiden samt efter exakt 1 timmes simulering har undersökts.

**Tabell 9.** Skillnad (%) i den yta som översvämmas vid konstanta värden på M jämfört med varierande värden på M efter exakt 1 timme samt den maximala skillnaden under hela simuleringen (3 timmar). Detta har undersökts för vattendjupen 0,1 m samt 0,5 m.

| Simulering              | Skillnad (%) i översvämmad area vid konstanta värden på M jämfört med varierande värden på M |        |        |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|
|                         | M = 20                                                                                       | M = 40 | M = 75 |
| <b>Vattendjup 0,1 m</b> |                                                                                              |        |        |
| Efter 1 timme           | + 0,3                                                                                        | - 0,2  | + 1,0  |
| Maximala vattendjup     | + 7,4                                                                                        | - 0,6  | + 3,2  |
| <b>Vattendjup 0,5 m</b> |                                                                                              |        |        |
| Efter 1 timme           | - 4,6                                                                                        | - 2,9  | + 18,3 |
| Maximala vattendjup     | + 44,7                                                                                       | + 3,7  | + 24,2 |

Förutom att undersöka vattnets utbredning vid olika värden på M är det även intressant att undersöka hur de maximala vattendjupen varierar med olika värden på denna parameter. Detta sammanfattas i tabell 10 för de tidigare undersökta områdena (se figur 21). Alla värden har avrundats till 1 dm noggrannhet. Maximala vattendjup för alla simuleringar, utom för den med M = 20, är 3,9 m och är vid sjukhusets akutingång (Sjukhus 3) för samtliga fall. Vid M = 20 fås ett maximalt djup på 5,1 m i närheten av Folkparksmotet (Väg 3) och det näst största djupet är 4,0 m vid akutingången.

**Tabell 10.** Maximala vattendjup (m) för total simuleringstid inom några olika områden vid olika värden på M.

| Värde på M   | Maximala vattendjup (m) i olika områden |         |         |       |       |       |       |       |
|--------------|-----------------------------------------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              | Sjuk. 1                                 | Sjuk. 2 | Sjuk. 3 | Väg 1 | Väg 2 | Väg 3 | Väg 4 | Skola |
| Varierande M | 0,5                                     | 2,5     | 3,9     | 2,0   | 1,8   | 1,3   | 3,0   | 0,5   |
| M = 20       | 0,5                                     | 2,8     | 4,0     | 2,0   | 1,8   | 1,3   | 2,3   | 0,5   |
| M = 40       | 0,5                                     | 2,5     | 3,9     | 2,0   | 1,8   | 1,3   | 2,8   | 0,5   |
| M = 75       | 0,5                                     | 2,6     | 3,9     | 2,0   | 1,8   | 1,4   | 3,6   | 0,5   |

### Olika regnintensiteter

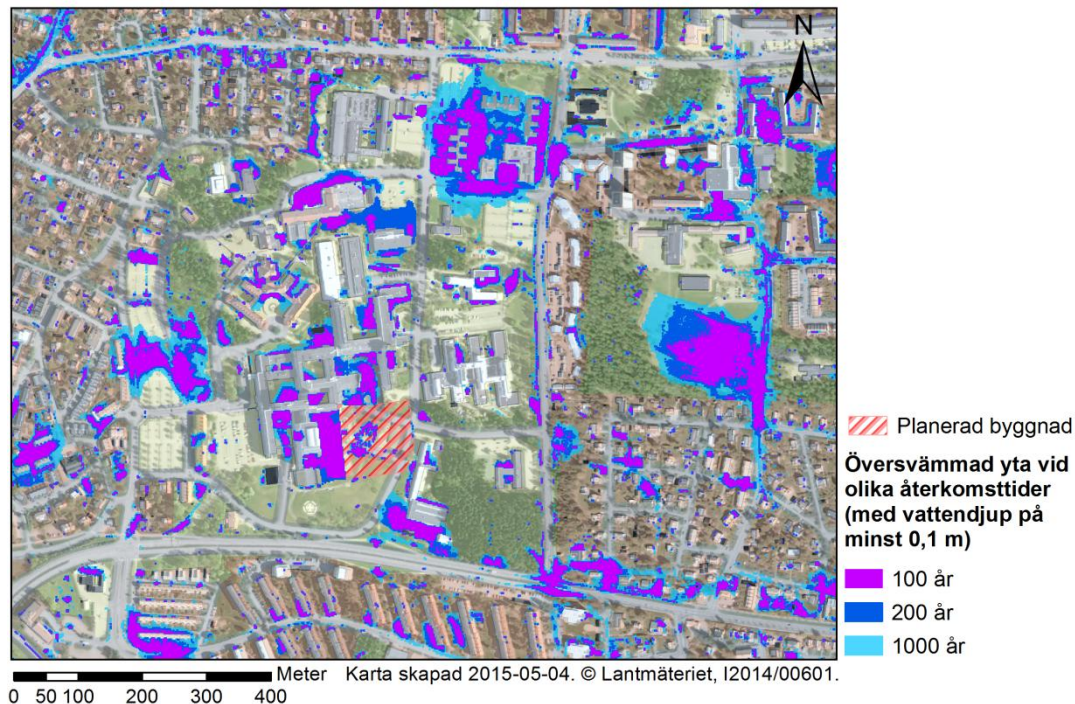
För de olika regnen som har återkomsttiderna 100, 200 respektive 1000 år och varaktigheten 30 minuter, respektive ett regn med återkomsttiden 100 år men med 1 timmes varaktighet, har de maximala vattendjupen under hela simuleringstiden undersökts i några utvalda områden, se tabell 11. Även djupen från ett regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter, men där inget schablonavdrag för ledningsnätets kapacitet har gjorts, redovisas i tabellen. Resonemangen bakom framtagandet av dessa regn ses i avsnitt 3.2.10. För att resultaten ska vara jämförbara har de maximala vattendjupen från ursprungssimuleringen av regnet med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter också tagits från de tre första simulerade timmarna. Generellt ses att vid regn med längre återkomsttid ökar de maximala vattendjupen, framförallt vid vägarna. Vid akutingången (Sjukhus 3) är de maximala vattendjupen någorlunda konstanta trots ökad regnintensitet. Alla värden har avrundats till 0,1 m noggrannhet. Totalt under hela simuleringstiden uppnås de största vattendjupen i det område där Pilgatan går under järnvägen (Väg 4) vid simulering av regn med återkomsttiden 100 år utan avdrag för ledningsnät samt för simulering med regn med återkomsttiden 1000 år. För de övriga simuleringarna återfås maximum vid akutingången (Sjukhus 3).

**Tabell 11.** Maximala vattendjup (m) inom några olika områden vid olika regnintensiteter.

| Regnintensitet                                             | Maximala vattendjup (m) i olika områden |         |         |       |       |       |       |       |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                            | Sjuk. 1                                 | Sjuk. 2 | Sjuk. 3 | Väg 1 | Väg 2 | Väg 3 | Väg 4 | Skola |
| Återkomsttid<br>100 år (30 min)                            | 0,5                                     | 2,5     | 3,9     | 2,0   | 1,8   | 1,3   | 3,0   | 0,5   |
| Återkomsttid<br>100 år (1 h)                               | 0,5                                     | 2,5     | 3,9     | 2,3   | 1,9   | 1,4   | 3,7   | 0,6   |
| Återkomsttid<br>200 år (30 min)                            | 0,6                                     | 2,6     | 4,0     | 2,6   | 1,9   | 1,5   | 3,9   | 0,6   |
| Återkomsttid<br>1000 år (30 min)                           | 0,9                                     | 2,6     | 4,1     | 3,8   | 2,1   | 1,6   | 4,2   | 0,8   |
| Återkomsttid<br>100 år<br>(utan avdrag för<br>ledningsnät) | 0,6                                     | 2,5     | 3,9     | 2,5   | 1,9   | 1,5   | 3,9   | 0,6   |

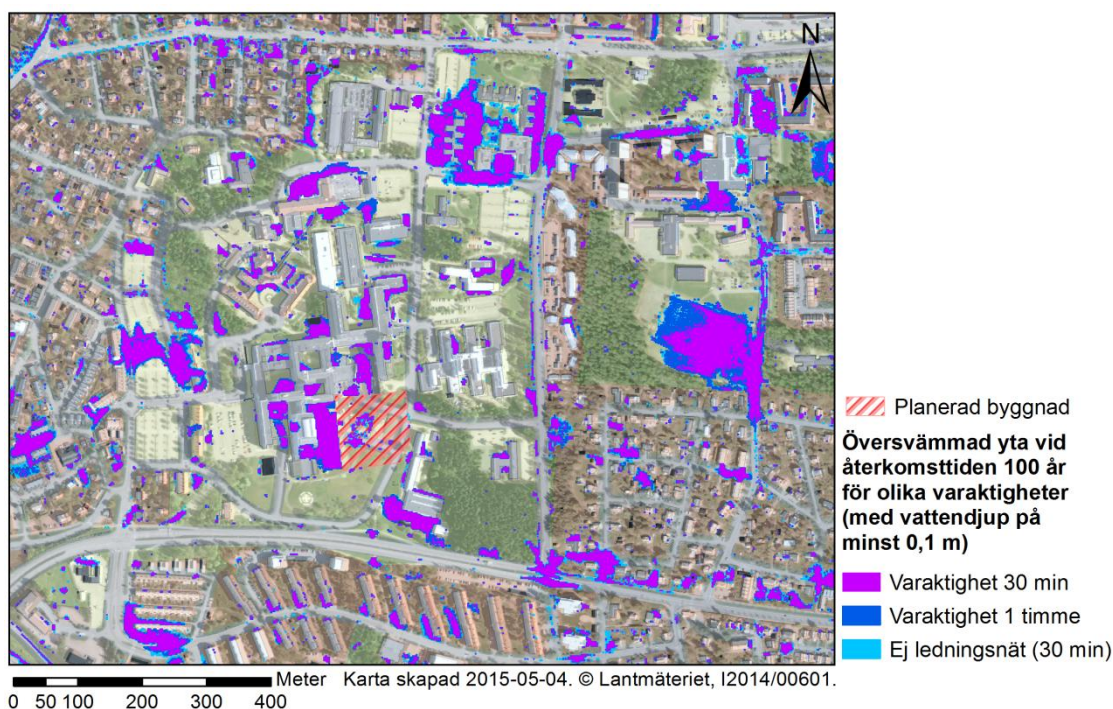
Den maximala utbredningen och vattendjupen av de översvämmade ytorna i hela avrinningsområdet för regnen med de olika återkomsttiderna kan ses i bilaga 7. En jämförelse av de ytor kring sjukhusområdet som maximalt översvämmas med ett vattendjup på minst 0,1 m under hela simuleringstiden har gjorts för regnen med återkomsttiderna 100, 200 respektive 1000 år, se figur 28. Där ses att kraftigare regn på

de flesta ställen leder till att översvämningen får en större utbredning. Sjukhusets norra byggnad (Sjukhus 1) är i stort sett omringad av vatten vid ett regn med återkomsttiden 1000 år. Endast den mindre ökningen i intensitet (till ett regn med återkomsttiden 200 år) leder till att betydligt fler ytor översvämmas. Störst skillnad i översvämmad yta är dock vid hamnområdet, se bilaga 7.



**Figur 28.** Översvämmad yta (minst 0,1 m) kring sjukhusområdet vid regn med återkomsttiden 100, 200 respektive 1000 år med 30 minuters varaktighet.

I figur 29 ses vilka ytor kring sjukhusområdet som översvämmas vid de tre olika regnen med återkomsttiden 100 år. Här ses att regnets varaktighet och ett fungerande ledningsnät påverkar hur stor den översvämmade ytan blir.



**Figur 29.** Översvämmad yta (minst 0,1 m) kring sjukhusområdet vid regn med återkomsttiden 100 år och med 30 respektive 60 minuters varaktighet, samt vid ett regn med återkomsttiden 100 år och 30 minuters varaktighet men där inget avdrag för ledningsnätets kapacitet har gjorts.

En jämförelse har gjorts i ArcGIS över hur många av vissa typer av objekt och exploateringsområden som ligger i översvämmade områden vid simuleringar av regn med olika återkomsttider, se tabell 12. Som tidigare används en säkerhetsmarginal på 5 m utanför förorenade områden och nätstationer. De objekt med enstaka översvämmade punkter (oftast 4 m<sup>2</sup>) inom respektive säkerhetsmarginal har inte tagits med. Ett vattendjup på minst 0,1 m har använts när antal drabbade objekt har analyserats.

**Tabell 12.** Antal samhällsviktiga objekt som drabbas vid regn med olika återkomsttider. Siffror i parentes anger antal översvämmade områden med planerad bebyggelse som får ett maximalt vattendjup på minst 0,5 m.

| Antal objekt och exploateringsområden som drabbas vid respektive regn | Återkomsttid<br>100 år<br>(30 min) | Återkomsttid<br>100 år<br>(1 h) | Återkomsttid<br>200 år<br>(30 min) | Återkomsttid<br>1000 år<br>(30 min) |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Skolor, sjukhus och vårdcentraler                                     | 6                                  | 8                               | 10                                 | 13                                  |
| Förorenade områden                                                    | 3                                  | 3                               | 4                                  | 5                                   |
| Planerad bebyggelse                                                   | 7 (2)                              | 7 (3)                           | 9 (3)                              | 12 (6)                              |
| Nätstationer                                                          | 16                                 | 20                              | 25                                 | 35                                  |

Bland de skolor, sjukhus och vårdcentraler som drabbas vid översvämningsrisker sjukhuset och därefter Viksängsskolan att drabbas värst av översvämningsrisker vid alla



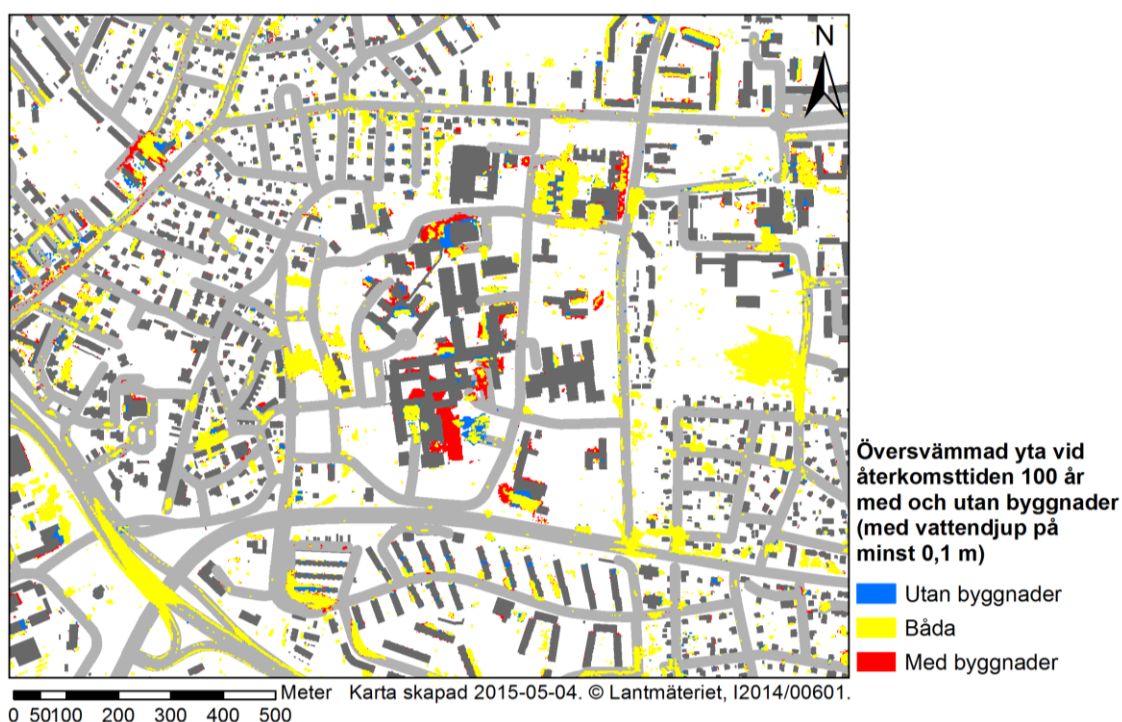
simulerade regn. Vid sjukhuset får översvämningen både en stor utbredning och ett stort vattendjup på vissa ställen, medan mindre djup men stor yta översvämmas vid Viksängsskolan. Mindre områden kring Korsängsskolan översvämmas, dock kan vattendjupet bli upp till 2 m vid alla återkomsttider.

Av de fem förorenade områdena som ligger inom avrinningsområdet har endast de som översvämmas med en större yta tagits med i tabellen. Detta då alla förorenade områden översvämmas mer eller mindre då de sträcker sig över stora områden. Vid ett regn med återkomsttiden 1000 år ökar både översvämningens utbredning och djup vid de förorenade områdena. Vattendjupet ökar då på många ställen från 0,5 m till 1 m. Vattenhastigheten är fortsatt låg i de förorenade områdena vid alla simuleringar där endast en svag ökning sker från 0,1 m/s till 0,5 m/s vid regnet med 1000 års återkomsttid.

Områden med planerad bebyggelse kommer delvis översvämmas vid alla regnscenarier, dock i störst utsträckning vid ett regn med återkomsttiden 1000 år. Störst skillnad i översvämningens utbredning ses i de centrala delarna av hamnen.

### Terrängens betydelse

Vid en simulering utan byggnader i terrängmodellen ses i figur 30 att största skillnaderna i översvämmade ytor är vid tät bebyggelse och kring sjukhusområdet jämfört med när byggnaderna är inlagda. Båda simuleringarna är för regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter.

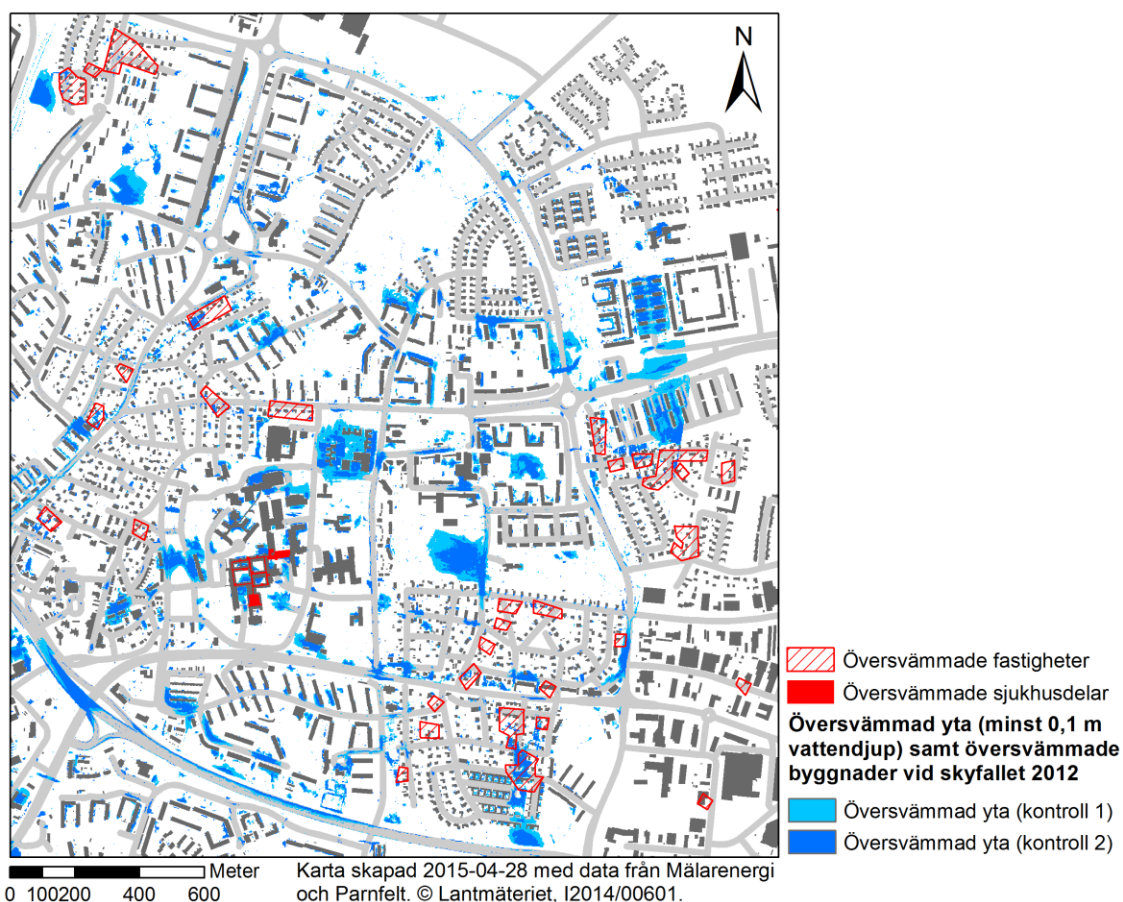


**Figur 30.** Jämförelse mellan två regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter där den ena har en terrängmodell utan byggnader och den andra med byggnader.



#### 4.2.3. Jämförelse med skyfallet 8 juli 2012

Från simuleringar med de två uppgifterna om regnet som föll 8 juli 2012 kan resultaten jämföras med de delar av sjukhusbyggnader som översvämmades samt med de hushåll som rapporterade in översvämningsskador. Den inofficiella uppgiften om en nederbörd på 100 mm under 2 timmar redovisas som ”kontroll 1” och den uppmätta nederbörden från Mälarenergis mätare vid Grytahögsgatan redovisas som ”kontroll 2”. I figur 31 ses att det simulerade regnet visar fler översvämmade områden än vad som finns dokumenterat. Vid båda kontrollerna ansamlas vatten på samma ställen, dock är de översvämmade ytorna större för kontroll 1 än kontroll 2. Simuleringen visar att mycket vatten ansamlas kring de delar av sjukhusområdet som enligt uppgift översvämmades i juli 2012. I bilaga 8 ses maximala vattendjup från respektive kontrollsimulering.

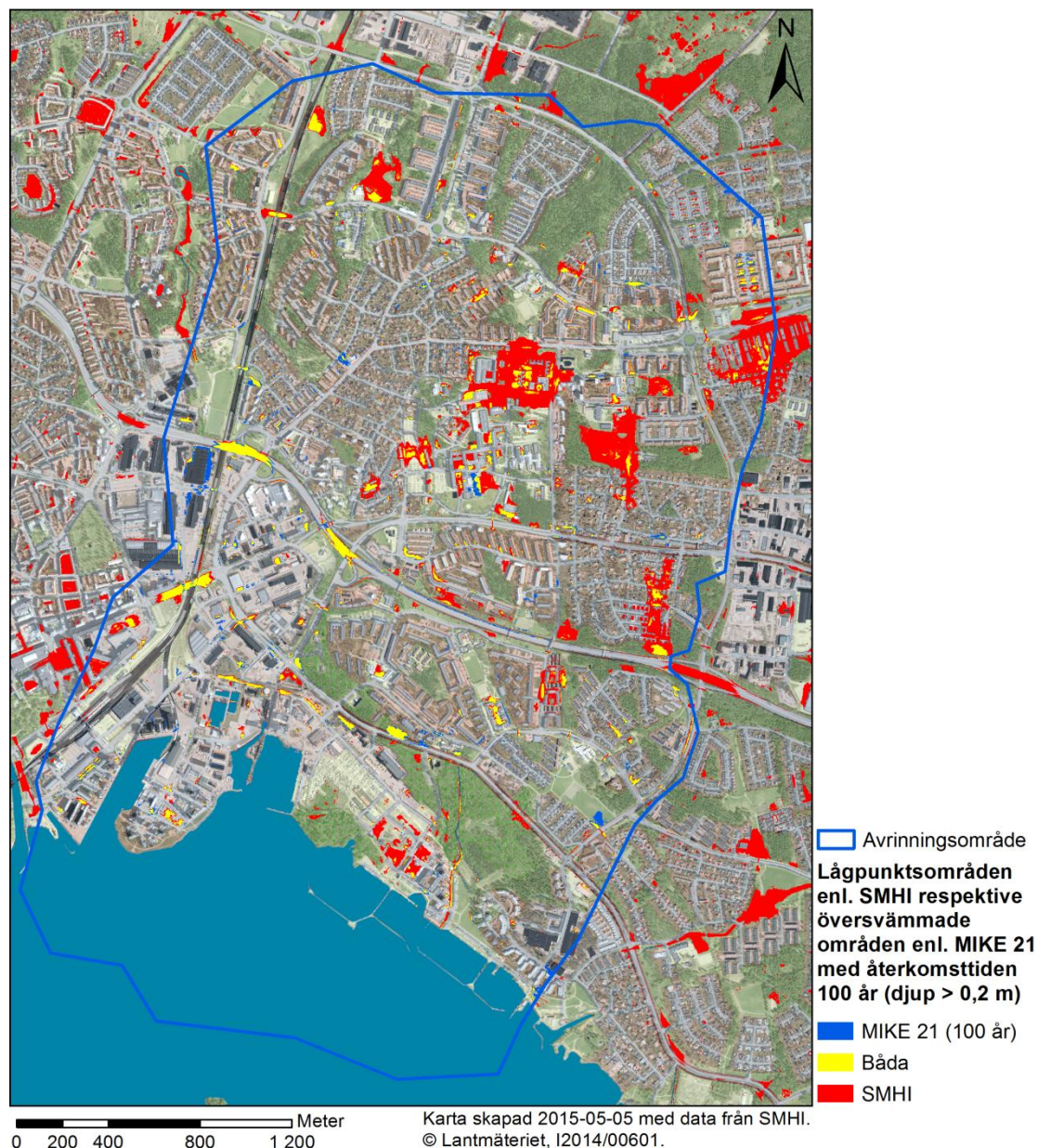


**Figur 31.** Översvämmad yta (minst 0,1 m) med inofficiell uppgift på 100 mm nederbörd under 2 timmar (kontroll 1) samt med regn uppmätt av Mälarenergi (kontroll 2). De fastigheter och delar av sjukhusbyggnader som översvämmades finns också utmarkerade på kartan.

#### 4.3. JÄMFÖRELSE MELLAN LÅGPUNKTSKARTERINGEN OCH MIKE 21

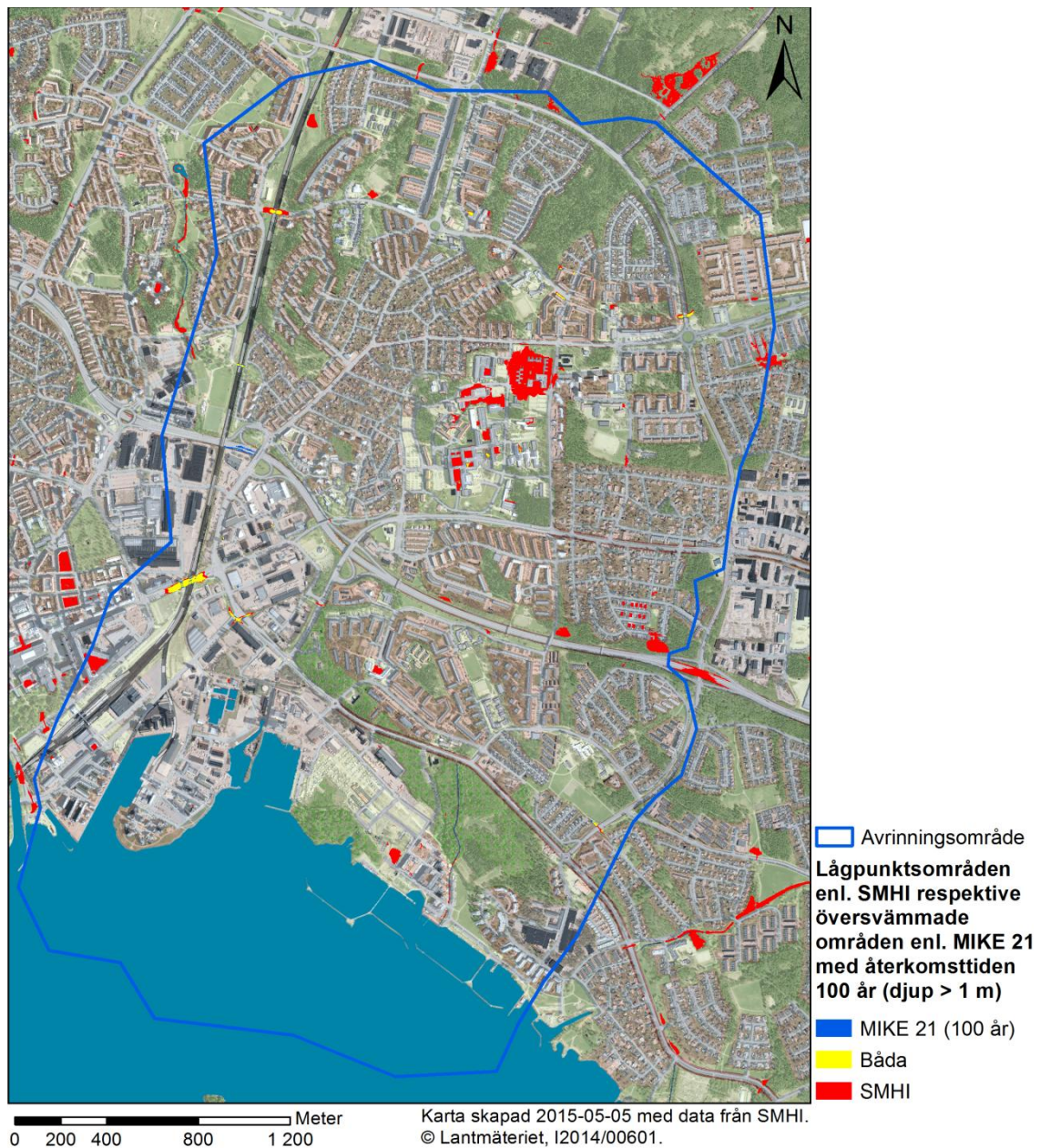
En jämförelse har gjorts med SMHI:s lågpunktskartering och det simulerade regnet med återkomsttiden 100 år under 30 minuter. Då lågpunkterna i SMHI:s kartering är uppdelade efter djupen  $> 0,2$  m respektive  $> 1$  m har samma indelning gjorts för resultaten av simuleringen med MIKE 21, se figur 32 och 33. De områden som både översvämmas med MIKE 21 och som SMHI har karterat som lågpunktsområden

markeras också i figuren. I figur 32 ses att många lågpunktsområden inte översvämmas vid det simulerade regnet, det gäller framförallt stora områden kring Sjukhus 1 samt i avrinningsområdets östra delar kring Skiljebo. Några områden som däremot inte syns i lågpunktskarteringen men som enligt simuleringen med MIKE 21 kommer att översvämmas är vid industribyggnaderna vid Ängsgärdet, väster om den planerade sjukhusbyggnaden, längs E18 samt vid många mindre vägar i alla tätbebyggda bostadsområden. I figur 33 ses att de flesta lågpunktsområden med djupet > 1 m inte kommer översvämmas vid ett regn med återkomsttiden 100 år. Det är endast vid några vägunderfarter för bilar och cyklister som karteringen stämmer överens med de översvämmade områdena från de hydrauliska beräkningarna.



**Figur 32.** Jämförelse mellan SMHI:s karterade lågpunktsområden och de simulerade ytorna som översvämmas med ett djup på minst 0,2 m vid ett regn med återkomsttiden 100 år. De ytor som både ligger i lågpunktsområden och som kommer översvämmas enligt simuleringarna från MIKE 21 visas också i figuren.





**Figur 33.** Jämförelse mellan SMHI:s karterade lågpunktsområden och de simulerade ytorna som översvämmas med ett djup på minst 1 m vid ett regn med återkomsttiden 100 år. De ytor som både ligger i lågpunktsområden och som kommer översvämmas enligt simuleringarna från MIKE 21 visas också i figuren.

En jämförelse med SMHI:s lågpunktsområden har även gjorts för regnen med återkomsttiderna 200 respektive 1000 år, se bilaga 9. Där kan det ses att lågpunktskarteringen med ett djup > 0,2 m stämmer bättre överens med ett regn med återkomsttiden 1000 år då samma djupgräns studeras. Dock missar lågpunktskarteringen stora områden i det centrala hamnområdet som enligt de hydrauliska beräkningarna översvämmas vid detta regn.

En sammanställning har gjorts över hur många samhällsviktiga objekt som ligger i lågpunktsområden (med ett djup > 0,2 m) respektive hur många som faktiskt översvämmas av ett regn med återkomsttiden 100 år enligt analysen med MIKE 21, se

tabell 13. För nätstationer har de med en översvämmad area (eller där lågpunktens area) som överstiger 250 m<sup>2</sup> tagits med i jämförelsen. Fyra av nätstationerna får en översvämmad area på minst 10 000 m<sup>2</sup> medan ingen av nätstationerna ligger i lågpunktsområden med den storleken.

**Tabell 13.** Antal samhällsviktiga objekt som ligger i lågpunktsområden (djup > 0,2 m) respektive drabbas av översvämning vid ett regn med återkomsttiden 100 år med varaktigheten 30 minuter.

| <b>Antal samhällsviktiga objekt som drabbas vid respektive regn</b> | <b>SMHI:s lågpunktskartering</b> | <b>Återkomsttid 100 år (30 min)</b> |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Skolor, sjukhus och vårdcentraler                                   | 5                                | 6                                   |
| Förorenade områden                                                  | 2                                | 3                                   |
| Planerad bebyggelse                                                 | 6                                | 7                                   |
| Nätstationer                                                        | 3                                | 10                                  |

Söder om Korsängsmotet vid industribyggnaderna på Ängsgärdet finns inga karterade lågpunktsområden. Dock finns det ett stort område med förorenad mark här och enligt simuleringarna med MIKE 21 kommer detta område översvämmas redan vid ett regn med återkomsttiden 100 år. Avsaknaden av karterade lågpunkter i detta område bidrar till att flera nätstationer missas vid jämförelsen. Vid vissa innegårdar där det finns skolor och planerad bebyggelse visar simuleringen med MIKE 21 att fler av dessa ytor översvämmas än som är markerade som lågpunkter.

## 5. DISKUSSION

### 5.1 ÖVERSIKTLIG KARTERING

Här diskuteras både noggrannheten i SMHI:s lågpunktskartering samt hur karteringen kan användas vid vidare analys av samhällsviktiga objekt, befintliga och planerade byggnader, förorenade områden samt infrastruktur som riskerar att översvämmas vid skyfall.

#### 5.1.1. Analys av SMHI:s lågpunktskartering

För den översiktliga karteringen har SMHI:s lågpunktskartering använts. Denna kartering är helt kopplad till terrängen, vilket gör att ingen hänsyn tas till hur vattnet faktiskt rinner då inte markens infiltration eller urban teknik så som vägtrummor, kulvertar och ledningsnät finns med. Karteringen tar heller inte hänsyn till något speciellt regn med viss återkomsttid utan styrs av de kriterier som har ställts i GIS på vad som är en lågpunkt där endast de lågpunkter med ett djup på minst 0,2 m har redovisats. Justeringar har gjorts för hand i terrängen, men vissa viktiga strukturer skulle ändå kunna saknas som påverkar var lågpunkter finns i höjdmodellen.

Då terrängen är beskriven utifrån hur den såg ut vid skanningstillfället kan de höjder som anges i höjdmodellen Grid 2+ behöva uppdateras allt eftersom viktiga objekt (exempelvis byggnader och vägar) tillkommer i samhället som inte fanns med då mätningarna ägde rum. Det kan vara särskilt viktigt i urbana miljöer som ständigt förändras. Höjddatat producerades år 2014 för Västerås stad, vilket innebär att det borde stämma bra överens med verkligheten idag. Det är dock viktigt att veta om att höjddatat blir mindre aktuellt ju längre tiden går. Då medelfelet i Grid 2+ är ungefär 0,05 m i höjddled på öppna ytor som är platta och hårdgjorda, samt att medelfelet mellan olika skanningsområden är 0,1 m, är det inte särskilt relevant att redovisa lågpunkter lägre än 0,1 m. SMHI:s redovisning av lågpunkter på minst 0,2 m är därför rimlig.

### **5.1.2. Diskussion kring resultaten från den översiktliga karteringen**

Utvalda samhällsviktiga objekt har jämförts med SMHI:s lågpunktskartering. Några av de samhällsviktiga objekten, såsom nätstationer och prioriterade pumpstationer, har valts i samråd med Mälarenergi. Inga platsbesök har gjorts, istället har alla objekt analyserats utifrån befintliga kartlager. För vissa objekt, exempelvis förorenade områden och banvall, är det osäkert hur långt ut de sträcker sig, därför har säkerhetsmarginaler lagts till vid vidare undersökningar. Då fastighetskartan ligger till grund för jämförelsen med skolor, vårdcentraler och bostadsområden kan viktiga objekt behöva kontrolleras så de fortfarande finns kvar på samma plats. Fastighetskartan över Västerås stad publicerades dock år 2013 vilket innebär att den borde vara relativt aktuell. Google Earth har använts för att få en bättre bild över hur det ser ut i områden där vägar, järnvägar och bostadsområden befinner sig i lågpunktsområden. På de flesta ställen ses tydligt om det exempelvis finns vägdiken och gräsområden i närheten som påverkar vattnets rörelse, men platsbesök behöver göras för de områden som ska undersökas vidare för att få en uppdaterad bild över området.

Enligt lågpunktskarteringen riskerar många objekt att översvämmas. Dessa objekt bör dock ses som potentiella riskobjekt då analysen endast visar att de ligger i låga områden, vilket inte behöver betyda att vatten ansamlas där. För att vatten ska kunna ansamlas i vissa områden spelar regnets storlek och återkomsttid en stor roll. En prioritering skulle kunna göras över vilka av dessa låga områden med viktiga objekt som ska undersökas vidare. Exempelvis skulle objekt som enligt analysen ligger i stora lågpunktsområden kunna prioriteras. Flera av bostadsområdena ligger i stora låga områden. Många bil- och cykelunderfarter ligger i givna lågpunkter dit vatten troligen kommer rinna (ses exempelvis i figur 16). I de områden där nya byggnationer planeras är det enklare att vidta förebyggande åtgärder för att förhindra att vatten ansamlas i lågpunkter, eller att helt enkelt planera bebyggelse utanför lågpunktsområden. Vid nya planer på byggnation, som ej fanns då denna rapport skrevs, kan det därför vara bra att jämföra även dessa områden med SMHI:s lågpunktsområden. Då många av nätstationerna ligger i eller i närheten av lågpunktsområden har en uppdelning gjorts där de som befinner sig vid lågpunktsområden med en area på minst 250 m<sup>2</sup> redovisas i punktform. För vidare undersökning skulle de nätstationer som befinner sig i lågpunktsområden med ett djup > 1 m kunna prioriteras. Dock saknas information om exakt på vilka nivåer dessa nätstationer befinner sig och på vilka nivåer känsliga



funktioner finns som skulle slå ut stationen, vilket i stor grad påverkar hur allvarligt de påverkas vid skyfall. För att ta reda på detta skulle en detaljerad konsekvensanalys behöva göras. Det kan vara bra att fundera på hur nätstationer och prioriterade pumpstationer ska skyddas för att kunna fungera även vid extrema regntillfällen. Förslag på detta kan vara att valla in stationerna eller höja upp eluttagen.

Några av konsekvenserna på dessa viktiga objekt har redan uppmärksammats i Risk- och sårbarhetsanalysen för Västerås kommun. Exempelvis att skyfall och översvämningar kan leda till att gamla kemisk-toxiska deponier urlakas, byggnader och vägar skadas och risken ökar att nätstationer förstörs (Västerås Stads stadsledningskontor, 2012). Här anges även att om kärnbränslefabriken Westinghouse Sweden Electric AB skulle drabbas så kan detta få negativa konsekvenser på samhället. Då fabriken ligger vid ett stort lågpunktsområde kring Terminalvägen (figur 17) bör detta område undersökas ytterligare.

Då SMHI:s kartering endast täcker centralorterna i Västmanlands län kan vissa intressanta platser missas utanför själva staden Västerås. Ett stort lågpunktsområde ses vid Tillberga, vid karteringens slut norr om Västerås. Där finns planerad näringslivsmark, järnväg och en prioriterad pumpstation som inte karteringen täcker. Vid Dingtuna, utanför sydvästra gränsen för SMHI:s kartering, finns också planerad bebyggelse och prioriterad pumpstation. Det närmaste karterade området tyder på ett stort lågpunktsområde mot Dingtuna, men då karteringen tar slut där är det oklart hur långt lågpunktsområdet sträcker sig.

## **5.2. SIMULERINGAR MED MIKE 21 FLOW MODEL**

Här diskuteras hur den hydrauliska modellen byggdes upp och varför vissa indata valdes. En diskussion förs även över resultatet från den ursprungliga simuleringen samt över resultaten som fås från de olika känslighetsanalyserna och från kontrollen med skyfallet som föll i juli 2012.

### **5.2.1. Terrängmodellen**

Då terrängmodellen är det viktigaste indata till den hydrauliska modellen har stort fokus lagts på denna. En hög upplösning på 2 x 2 m har använts för att få med detaljerna i den urbana miljön. I urbana miljöer, vilket har simulerats här, blir det extra viktigt att ha en hög upplösning i modellen då terrängen varierar mycket. Enligt en manual för skyfallskartering i GIS från Jönköpings länsstyrelse rekommenderas att terrängens upplösning är på minst 10 x 10 m och att hänsyn bör tas till byggnader i terrängmodellen (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2014). Även det senare har gjorts då GIS-lagret med byggnader har höjts upp med 2 m från den ursprungliga terrängen. Istället för att höja upp varje byggnad till deras riktiga höjd över marken har en gemensam upphöjning gjorts för alla byggnader. Byggnaderna valdes att inte höjas upp mer än 2 m för att undvika att skapa för höga vattenhastigheter i modellen från vatten som faller från taken. En stor höjdskillnad mellan mark och tak i olika rutor i terrängmodellen kan leda till instabiliteter i simuleringen. Däremot kan en liten höjdskillnad där vatten kan stå stilla under lång tid, exempelvis i närheten av byggnader,

leda till att vatten skapas i simuleringen. Den vattenvolym som genereras i MIKE 21 med det valda tidssteget 0,3 sekunder för den ursprungliga körningen är dock nästan obefintlig. Terrängmodellen utgår också från Grid 2+ och på grund av ovan nämnda medelfel i höjddled och mellan skanningsområdena visas inte de vattendjup i resultaten som understiger 0,1 m. Om vattendjup under 0,1 m skulle tas med vid redovisning av resultaten skulle kartorna visa översvämmade ytor nästan överallt då vatten kan ansamlas mer eller mindre på de flesta ytor. Den planerade sjukhusbyggnaden har höjts upp för hand i terrängmodellen efter en ritning från Kent Parnfelt på Landstinget. Platsen för byggnaden är dock ungefärlig, vilket kan påverka var vattnet ansamlas i det området.

Avrinningsområdet baseras på potentiella flödesvägar som beräknades via ArcGIS, vilket innebär att de beror helt på terrängen och kan skilja sig något från faktiska flödesvägar. På grund av detta har ett något större område simulerats, men då större område leder till långsammare simuleringar har inte hela Västerås stad tagits med. Ett stort avrinningsområde har även valts för att minimera risken att dess avgränsningar påverkar resultaten från MIKE 21. Detta eftersom terrängen utanför avrinningsområdet är upphöjt så inget vatten kan försvinna från modellen. Om det undersökta området skulle ligga i en lågpunkt nära terrängmodellens avgränsning skulle onaturligt mycket vatten kunna ansamlas där.

### **5.2.2. Klassning av markytan**

Klassningen av markytan inom avrinningsområdet har gjorts för att lättare sätta rätt Mannings tal (M) och regnintensitet på de olika ytorna. Marktyper i fastighetskartan ligger till grund för klassningen och den kartan borde stämma bra överens med verkligheten då den är relativt nyproducerad. Vid en jämförelse i GoogleMaps och med ortofotot över några områden kunde dock vissa marktyper skilja sig åt trots att de hade samma klassning i fastighetskartan. Exempel på detta är marktypen ”Öppen mark och skog” som i vissa områden representerade parker med mycket grönska och i andra områden vägbankar med grus och gräs blandat. Dessa områden har fått något högre värden på M och avrinningskoefficienterna än om de endast skulle utgöras av parker. En förbättring skulle kunna vara att noggrant jämföra exempelvis ortofotot med fastighetskartan och göra ännu fler indelningar av marktyper. Det skulle dock ta mycket tid att genomföra en sådan jämförelse, vilken troligen skulle resultera i endast små skillnader från de indelningar som gjorts i denna simulering. Från känslighetsanalysen ses också att den yta som översvämmas inte varierar allt för mycket med de extrema värdena på M. Ingen undersökning har gjorts med olika regnintensiteter.

### **5.2.3. Regnintensitet i modellen**

Avrinningskoefficienterna till regnfilen baseras på vilken marktyp som finns i området, vilket gör att eventuella skillnader i marktyper även påverkar regnintensiteten. Då även regnfilens upplösning är 2 x 2 m kan inte olika regnintensiteter sättas inom en och samma ruta. Ingen undersökning har gjorts över var ledningsnätet befinner sig i terrängen, eftersom detta då skulle behöva undersökas för varje ruta i gridet. Även ledningsnätets avrinningsområde skulle då behöva undersökas. Istället har en förenkling

gjorts genom att inte göra något avdrag för ledningsnätets kapacitet för de marktyper som inte antas ha något ledningsnät, såsom vattendrag och öppen mark och skog. För de övriga marktyperna antas ledningsnätet kunna rymma ett regn motsvarande återkomsttiden 10 år och ett schablonavdrag har därför gjorts i regnfilen med hänsyn tagen till olika avrinningskoefficienter. Jönköpings länsstyrelse rekommenderar också att göra ett schablonavdrag för regnvolymen som ryms i ledningsnätet (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2014). Ledningsnätets kapacitet beror dock på flera faktorer så som storlek, lutning och i vilket skick de är i. En kontroll av ledningsnäten skulle kunna utföras för noggrannare simuleringar.

Det regn som valts att simuleras som ursprungsregn är ett med återkomsttiden 100 år och med varaktigheten 30 minuter. Den valda återkomsttiden representerar ett skyfall med stor påverkan och som har en relativt hög sannolikhet att inträffa i framtiden. Varaktigheten har satts till 30 minuter för att simulera ett intensivt regn då det är svårare att förutse konsekvenser från ett sådant regn. Denna varaktighet bör vara ett rimligt medelvärde för dimensionerande varaktighet för stora delar av avrinningsområdet då urbana ytor har relativt kort rinntid. Längre varaktighet kräver dessutom längre simuleringstid för att vattnet ska hinna rinna till på ytan efter regnet har upphört.

Klimatfaktorn valdes till 1,15 i samråd med Mälarenergi, dock skulle en högre faktor kunna testas då det finns många osäkerheter kring framtida skyfall. Med klimatfaktorn 1,5 skulle dagens regn med återkomsttiden 100 år ske ungefär var 30:e år vid år 2100. Ett regn med återkomsttiden 100 år leder redan idag till stora konsekvenser, framförallt i urbana miljöer, och om ett sådant regn skulle drabba ett samhälle var 30:e år istället behövs bra motverkande åtgärder. Med klimatfaktorn 1,15 blir återkomsttiden 65 år. Klimatfaktorn 1,15 motsvarar scenariot RCP 4,5, vilket ligger mitt emellan de mer extrema scenarierna. Enligt IPCC (2013) förväntas även fler antal dagar med kraftig nederbörd mot år 2100, exempelvis 4 dagar fler per år för scenario RCP 4,5.

#### **5.2.4. Mannings tal**

Enligt tidigare diskussion påverkas även M av marktypen och får då samma felkällor. En viss marktyp, exempelvis ”Bebyggelse”, kan ha ytor som skiljer sig mycket åt. Det kan då bli stor skillnad på M beroende på om det är gräsklädda eller asfalterade ytor i ”Bebyggelse” vilket då kan påverka hur stora ytor som översvämmas, se avsnitt 5.2.7. för vidare diskussion om detta. För att lättare kunna välja rätt värden på M behöver det undersökas mer hur marken faktiskt ser ut, gärna med platsbesök.

#### **5.2.5. Simuleringstid**

Den hydrauliska modellen ska försöka beskriva hur vattnet rinner i verkligheten. En tillräckligt lång simuleringstid har valts för att regnvattnet ska hinna rinna till lågpunkter enligt den längsta beräknade rinnvägen. Vid för lång simuleringstid i MIKE 21 kan dock vattnet hinna rinna undan så pass att ledningsnätet inte längre är fullt och kan då i verkligheten börja avleda regnvattnet. Då bör kanske inte fullt avdrag längre göras i simuleringen för ledningsnätets kapacitet.

Olika tidssteg har valts vid olika simuleringar beroende på regnets intensitet. Vid en högre intensitet behövs ett kortare tidssteg i simuleringen för att undvika hastiga förändringar av vattendjup och vattenhastigheter. På grund av terrängmodellens höga upplösning, och med dess stora variationer, exempelvis i form av upphöjda byggnader, behövs också ett kortare tidssteg.

#### **5.2.6. Diskussion kring resultaten från ursprunglig simulering**

Den ursprungliga simuleringen över sjukhusets avrinningsområde visar att ett regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter generellt leder till att relativt låga vattendjup ansamlas på stora ytor. Men även vattendjup under 0,5 m kan också orsaka stora problem. De platser som generellt har ett markant större vattendjup är vid vissa vägunderfarter där terrängen kraftigt sjunker samt nära byggnader med oregelbundna strukturer eller vid innergårdar. Vissa vattendjup kan dock vara orimligt höga, varför det maximala vattendjupet i figurerna har generaliserats till  $> 1$  m. För jämförelse av vattendjup mellan olika områden och mellan olika simuleringar har dock de faktiska simulerade maximala vattendjupen redovisats i tabellform. Vid innergårdar kan det i verkligheten finnas öppningar mellan byggnader som gör att de inte översvämmas, eller att takens lutning gör att vattnet inte rinner ner på innergårdarna, vilket inte ses i terrängmodellen. Att vatten ansamlas i vägunderfarter verkar logiskt då de dels ofta ligger lägre än omkringliggande mark samt att de hårdgjorda ytorna bidrar till att mer vatten kan ansamlas där. Enligt Västerås översiktsplan ska stadsplaneringen prioritera fotgängare, cyklister och kollektivtrafik (Johansson m.fl., 2012) och då många cykelunderfarter översvämmas enligt simuleringarna vore det bra att undersöka dessa närmare, exempelvis om det redan finns eller om det finns behov av pumpar på dessa platser.

Kring sjukhuset blir det stort vattendjup vid akutingången och på vissa av innergårdarna, dock skulle eventuella rännstensbrunnar där kunna påverka vattendjupet. Enligt simuleringen översvämmas vissa vägområden runt sjukhuset, vilket skulle kunna hindra utryckningsvägar. Den planerade sjukhusbyggnaden leder till att mer vatten ansamlas på byggnadens sidor, både västerut och norrut, vilket gör att byggnadens placering är viktig för nederbördens avrinning. Då akutingången ligger norr om nybyggnationen skulle översvämningsdjupet där kunna påverkas av den planerade byggnadens placering. Stora ytor översvämmas vid Sjukhus 1, Sjukhus 2 och byggnaden som ska rivas under året, dock är det simulerade vattendjupet under 0,5 m.

Vid Mälarstranden finns idag en del förorenad mark som kan översvämmas vid framtida skyfall. Den låga vattenhastigheten i dessa områden gör dock att risken för erosion och borttransport av föroreningar är liten. Sanering av marken pågår (Johansson m.fl., 2012), men i dessa områden planeras även nya byggnationer, vilket gör det ännu viktigare att förebyggande åtgärder sätts in för att detta område inte ska översvämmas.

Nätstationen vid Bjurhovda längs Arkeologgatan kommer enligt simuleringen översvämmas upp till 0,5 m, det är dock oklart om den står på marken eller är upphöjd. Inga prioriterade pumpstationer befinner sig inom avrinningsområdet, dock kan det vara

bra att se över hur de är placerade då karteringen endast täcker en mindre yta av Västerås Stad och ett skyfall kan förekomma var som helst.

Då byggnader endast är upphöjda med 2 m jämfört med markytan har terrängmodellen undersökts i de områden nära sjukhusbyggnaderna där översvämningsdjupet är större än 2 m. Vid akutingången, där det maximala översvämningsdjupet är närmare 4 m, finns en sänka i terrängen som gör att den maximala vattennivån ändå inte rinner över byggnaderna. Denna sänka skulle dock kunna bidra till det stora vattendjupet just där. Vid sjukhusets innergårdar är också det maximala översvämningsdjupet lägre än byggnaderna i terrängmodellen.

Maximala vattendjup uppstår på vissa av de detaljstuderade områdena (Sjukhus 1, Väg 1, Väg 4 och Skola) vid slutet av simuleringstiden, vilket innebär att körningen kanske behöver gå ännu längre för att fastställa hur översvämningen skulle utveckla sig om mer vatten hann rinna till dessa ställen. För Sjukhus 1 ökar dock vattendjupet endast med ett par cm under simuleringens sista 4 timmar. Efter ungefär 1,5 timmes simulering når vattendjupet vid Hästhovsgatan (Väg 1) också nästan upp till maximal nivå och ökar därefter väldigt långsamt. För Viksängsskolan (Skola) ökar vattendjupet endast med några mm de sista 3 timmarna. Dock ökar vattendjupet vid Pilgatan (Väg 4) med 0,5 m från 3 till 5 timmars simulering. Att ökningen är störst här skulle kunna bero på att Pilgatan ligger nära slutet av rinnvägarna och då i ett stort avrinningsområde. De maximala flödeshastigheterna uppnås på nästan alla ställen innan simuleringen tar slut. Utifrån detta kan det diskuteras vad som är en rimlig simuleringstid. För att få de maximala vattendjupen, och översvämningens maximala utbredning, är det viktigt att vattnet tillåts rinna hela vägen. Efter tillräcklig lång tid kan dock ledningsnätet börja avleda vatten igen, vilket gör att mindre vatten då skulle ansamlas på ytan.

De delavrinningsområden som har tagits fram för regnet med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter är baserade på ArcGIS och inte MIKE 21, alltså beror de bara på terrängen och inte på hur vattnet faktiskt flödar i simuleringen. Dock har de upphöjda byggnaderna lagts in även i den terrängfil som används i ArcGIS för att undersöka delavrinningsområden för att inte vattnet ska kunna rinna rätt över byggnader. I enstaka fall sker det ändå eftersom byggnaderna endast är 2 m höga. Om man vet vattnets ungefärliga väg till vissa punkter är det lättare att välja var åtgärder kan sättas in för att förhindra översvämning längre nedströms.

Eventuellt kan det simulerade områdets avgränsning påverka områden som ligger precis intill avrinningsområdets kant då vatten inte kan rinna ut från avrinningsområdet. Detta skulle kunna påverka tillrinningen till Pilgatan (Väg 4) och vattnet som ansamlas vid nätstationen vid Bjurhovda, vilka ligger precis vid avrinningsområdets gräns. För att minimera dessa randeffekter har en stor del av Mälaren tagits med i avrinningsområdet dit regnvattnet kan rinna.

#### **5.2.7. Diskussion kring resultaten från varierande Mannings tal (M)**

För att få jämförbara värden på översvämningsytor vid olika värden på M har den procentuella skillnaden i översvämningens utbredning jämförts. Jämförelsen är dock



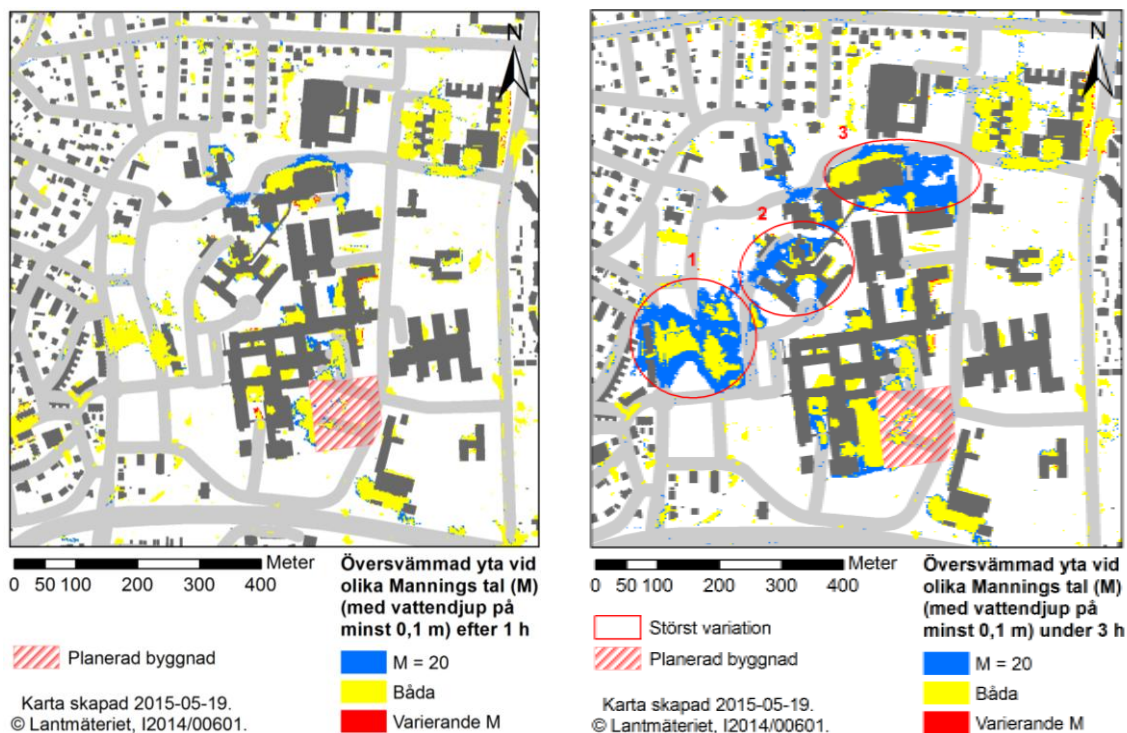
relativ, det vill säga att det är totala areor som har jämförts. Ytorna kan därmed ligga på olika platser. Dock ser de största översvämmade ytorna ut att vara på ungefär samma ställen i figurerna (figur 24 – 27). Översvämningens utbredning har jämförts dels efter 1 timmes simulering samt efter total simuleringstid. Vid total simuleringstid kan översvämningens maximala utbredning vid olika simuleringar jämföras. Att undersöka översvämmad area efter 1 timme är också relevant eftersom översvämningens utbredning varierar med tiden. Råheten påverkar vattnets hastighet på markytan där ett högre värde på  $M$  gör att vattnet kan rinna till och ansamlas fortare.

Ett lågt värde på  $M$  beskriver att marken har större motstånd i form av exempelvis mer växtlighet, medan ett högre värde på  $M$  i detta fall beskriver mer hårdgjorda ytor som exempelvis hustak. Vid simuleringar med olika värden på  $M$  varierar resultaten mest vid sjukhusbyggnaderna för alla scenarier, annars stämmer de översvämmade ytorna bra överens mellan simuleringarna. Resultaten ska visa på hur känslig MIKE 21 är för ändringar i olika marktypers råhet. I det här fallet visade det sig att MIKE 21 inte är så känslig för varierande  $M$ .  $M = 40$  skiljer sig minst från den ursprungliga simuleringen med varierande  $M$  för respektive marktyp både vad gäller de maximala vattendjupen i valda områden samt den totala översvämmade arean vid olika tidpunkter. Ett konstant värde på  $M = 40$  skulle därmed kunna användas istället för varierande  $M$  i just det här avrinningsområdet då det är ett ungefärligt medelvärde på alla de varierande värdena på  $M$  och ger ett resultat som är jämförbart med körningar med varierande  $M$ .

Störst översvämmad yta med ett vattendjup på minst 0,1 m fås vid  $M = 20$ , och då kring sjukhusbyggnaderna (figur 24 och tabell 9). Det är rimligt att störst översvämmad yta fås vid  $M = 20$  eftersom vattnet rinner långsammare till lågpunkter på grund av den grövre ytan och får då en större utbredning istället för att ansamlas snabbt i djupare men till ytan mindre områden. En kontroll med tidpunkter för olika maximala vattendjup bekräftar detta då de maximala vattendjupen i område 1, 2 och 3 (se figur 24) uppstår vid simuleringens slut. Vid  $M = 75$  fås näst störst översvämmad yta, dock borde detta värde på  $M$  rimligen ge minst utbredning då vattnet i denna simulering rinner snabbt till lågpunkter för att ansamlas där. Detta förklaras i nästa stycke. Anledningen att översvämmade ytor vid  $M = 75$  blir större än väntat kan vara att det är olika ytor som översvämmas, exempelvis om vattnet hinner rinna till fler ytor vid ett högre  $M$ . De maximala djupen vid  $M = 75$  uppstår efter ungefär 15 minuter i område 2 och 3 och vid slutet av simuleringstiden för område 3 (figur 24).

När vattendjupen (minst 0,1 m) jämförs efter exakt 1 timmes simulering är översvämningens utbredning ungefär lika stor i varje scenario. För  $M = 20$  innebär det att vattnet utbreder sig i ungefär samma utsträckning som för varierande  $M$  efter 1 timmes simulering, men att vattnet därefter fortsätter bredda ut sig vid  $M = 20$ . Eftersom översvämningens utbredning är större för  $M = 20$  vid simuleringens slut fortsätter vattnet att rinna till låga områden medan vid varierande värden på  $M$  minskar översvämningens utbredning med tiden. För simuleringen med  $M = 75$  breder vattnet också ut sig i ungefär samma utsträckning fram till simuleringstiden 1 timme som för varierande  $M$ , medan översvämningen därefter breder ut sig i mindre utsträckning än

vid  $M = 20$ . Detta beror troligen på en högre vattenhastighet vid  $M = 75$  som gör att vattnet snabbare rinner till lågpunkterna och översvämningen får istället en mindre utbredning. För att förtydliga denna diskussion visas ett exempel i figur 34 där översvämningens utbredning vid  $M = 20$  jämfört med varierande värden på  $M$  kan ses både vid tiden 1 timme samt den maximala utbredningen under 3 timmar där maximala vattendjup uppnås vid slutet av simuleringen i område 1, 2 och 3.



**Figur 34.** Översvämmad yta (minst 0,1 m) vid både varierande värden på  $M$  samt ett konstant värde på 20 vid tiden 1 timme (vänstra figuren) samt den maximala utbredningen under 3 timmar (högra figuren) där de maximala vattendjupen uppnås vid slutet av simuleringen i område 1, 2 och 3.

Vid en jämförelse av de översvämmade ytorna med ett vattendjup på minst 0,5 m (tabell 9) ses att betydligt fler ytor översvämmas vid  $M = 20$  och  $M = 75$  än vid varierande värden på  $M$ , vilket innebär att dessa simuleringar ger större vattendjup på många ställen. För  $M = 75$  är resultatet rimligt då ytor med mindre motstånd gör att vatten lättare kan rinna till lågpunkter. Redan efter 1 timmes simulering har fler lågpunkter vattenfyllets vid  $M = 75$  än vid varierande värden på  $M$ , vilket är rimligt på grund av den högre vattenhastigheten. Kring sjukhusområdet och vid Väg 4 är de översvämmade ytorna störst vid  $M = 75$ . De maximala djupen här uppnås vid slutet av simuleringen, vilket innebär att vattnet tar en lång rinnväg dit. Vid  $M = 20$  fås också fler ytor där vattendjupet är minst 0,5 m efter hela simuleringen än vad som fås vid varierande  $M$ . Detta är dock orimligt då ett lågt värde på  $M$  leder till minskad vattenhastighet vilket borde göra att mindre vatten hinner ansamlas i lågpunkter. Resultaten från  $M = 20$  efter 1 timmes simulering visar dock på en mindre utbredning än för varierande värden på  $M$ . Anledningen att de översvämmade ytorna med stora vattendjup (minst 0,5 m) blir större än väntat under hela simuleringstiden vid  $M = 20$  är svår att förklara. De områden som

översvämmas med detta djup för  $M = 20$  men inte vid varierande  $M$  är just kring område 1, 2 och 3 (se figur 24). Dessa områden verkar därmed vara känsliga för olika värden på  $M$ .

Sammanfattningsvis för översvämningens utbredning vid olika värden på  $M$  skulle ett område med mer växtlighet än idag leda till att större ytor översvämmas, samt att vattendjupen blir betydligt större. En liknande undersökning har utförts av DHI (2014) och där fås också att simulering med ett lägre värde på  $M$  ger större utbredning, dock fås ett mindre vattendjup, vilket borde vara mer logiskt. Det Mannings tal som DHI har använt för mer bevuxna ytor är  $M = 2$ , vilket har jämförts med deras referensfall med ett konstant  $M = 10$ . Om marken istället exploateras mer än idag får översvämningen lite mer utbredning, samt ett större vattendjup. Ett högre  $M$  ger enligt DHI:s undersökning, där  $M$  satts till 50, istället en mindre utbredning av översvämningen men ett större vattendjup (Mårtensson och Gustafsson, 2014). I verkligheten borde vattnet som ansamlas infiltrera med tiden, vilket speciellt vore aktuellt för en simulering med lägre värde på  $M$ , men inget vatten kan försvinna ut ur modellen. Då DHI:s referensfall har ett konstant  $M = 10$  och den ursprungliga simuleringen som genomförts i denna undersökning har varierande  $M$  beroende på marktyp, kan det vara en bidragande orsak till vissa skillnader i resultaten. De värden som DHI har ansatt som bevuxna ( $M = 2$ ) och hårdgjorda ( $M = 50$ ) ytor är dessutom relativt låga.

Även de maximala vattendjupen i olika områden har undersökts vid olika värden på  $M$ . Under hela simuleringstiden är det maximala vattendjupet 5,1 m vid  $M = 20$ , dock är det bara i en enda cell så troligen är det ett felaktigt resultat. I tabell 8 anges att det maximala vattendjupet för varierande  $M$  vid Väg 4 är 3,4 m medan det enligt tabell 10 är 3,0 m. Detta beror på att simuleringstiden i första fallet är 5 timmar och i andra fallet 3 timmar. Både vid  $M = 75$  och  $M = 20$  fås något större vattendjup i alla områden än vid varierande  $M$ . Det gäller dock inte för  $M = 20$  där Pilgatan går under järnvägen (Väg 4) då vattendjupet här är mindre, vilket det borde vara för  $M = 20$  i hela avrinningsområdet enligt resonemanget ovan om lägre vattenhastighet. Generellt varierar djupen från respektive simulering mest för Väg 4. Detta kan bero på att Väg 4 ligger inom ett stort lågpunktsområde och att området ligger långt nedströms i avrinningsområdet vilket gör att vattnet tar lång tid på sig att rinna hit och kan då påverkas mycket av markens struktur längs vägen. De effekter som närheten till avrinningsområdets kant skulle kunna ge är också en möjlig orsak till variationerna i vattendjup.

### **5.2.8. Regnintensitetens betydelse för resultatet**

Vid simulering med intensivare regn ses som förväntat att flest ytor översvämmas vid regnet med återkomsttiden 1000 år. Största skillnaden ses längs småvägar i bostadsområden och vid de centrala delarna av Västerås stad där även järnvägen ser ut att översvämmas vid regnet med återkomsttiden 1000 år. Detta beror troligen på många hårdgjorda ytor i dessa områden där vattnet får en hög hastighet. De maximala vattendjupen vid denna regnintensitet är något större än för de övriga regnen, men framförallt blir utbredningen betydligt större. När tiden för de maximala flödena vid regn med återkomsttiderna 100, 200 respektive 1000 år jämförs, ses att det är främst

kring det centrala hamnområdet som tiden varierar. I de mindre regnen uppnås maximala vattendjup i detta område vid slutet av simuleringstiden medan det som förväntat uppnås tidigare för regnet med återkomsttiden 1000 år. Detta betyder att vattnet tar lång tid på sig att rinna dit, men att vid kraftigare regn hinner mer vatten ansamlas i detta område tidigare.

En av nätstationerna ligger precis utanför simulerat område mellan Mälarparken och Berghamra, men nära ett område som översvämmas både vid regn med återkomsttiden 100 år och 1 timmes varaktighet, vid återkomsttiden 200 år samt 1000 år. Slutsatsen skulle då kunna dras att även denna nätstation riskerar att drabbas vid skyfall, därför är den medräknad vid antal nätstationer som drabbas (tabell 12) vid respektive regn.

Det är svårt att veta storleken på skyfall som kommer drabba Västerås i framtiden, därför är det intressant att jämföra vilka effekter de olika simulerade regnen får. Beroende på hur långt in i framtiden man vill planera för så ser sannolikheterna olika ut för att respektive regn ska falla minst en gång under denna tid. Exempelvis är sannolikheten för att ett skyfall med återkomsttiden 100, 200 respektive 1000 år ska inträffa inom de närmaste 50 åren 39, 22 respektive 5 % (tabell 1). Sannolikheten för mer extrema regn fram till år 2100 är relativt hög (> 90 % enligt IPCC) och framtidens regn med viss återkomsttid kommer inträffa oftare än idag på grund av ett förändrat klimat. Redan vid en mindre förändring i klimatet, där en klimatfaktor på 1,15 kan vara aktuell, kommer regnet med dagens återkomsttid på 100 år inträffa var 65:e år istället vid år 2100 och dagens regn med återkomsttiden 1000 år inträffar i genomsnitt var 655:e år (tabell 2). Enligt IPCC (2013) förväntas även den största dygnsmedelnederbörden bli ännu större år 2100 än idag, och då framförallt i våra tempererade klimat.

Då skyfall är extrema händelser kan det vara rimligt att ta hänsyn till en högre klimatfaktor även för regn med längre återkomsttid. Om exempelvis en klimatfaktor på 1,5 används kommer dagens regn med återkomsttiden 1000 år statistiskt inträffa ungefär var 300:e år. Ett regn med återkomsttiden 1000 år är inte helt osannolikt. Regnet som föll i Köpenhamn år 2011 hade till exempel en återkomsttid på 1500 år. Ett regn med återkomsttiden 200 år är inte heller osannolikt då ett sådant regn uppmättes i Västmanland år 1996 (Persson m.fl., 2012). Med en klimatfaktor på 1,5 skulle ett sådant regn återkomma ungefär var 60:e år. Valet av klimatfaktor skulle kunna baseras på hur känsligt område det är som undersöks där en högre faktor kan vara lämplig vid känsligare områden, eller vid exempelvis infrastruktur som ska hålla under en lång tid.

Vid simulering av ett regn med återkomsttiden 100 år, men med olika varaktigheter, fås ungefär samma maximala djup i de utvalda områdena, förutom för Väg 1 och Väg 4 där vattendjupet blir större för regnet med 1 timmes varaktighet. Vid ett regn med kortare varaktighet (exempelvis 30 minuter) faller ett kraftigare regn medan ett regn med samma återkomsttid men med längre varaktighet (exempelvis 1 timme) har lägre intensitet. Skillnaden i översvämningens utbredning är större än väntat mellan dessa regn.

Regnet med återkomsttiden 100 år, men då ledningsnätet antas vara ur funktion, ger generellt större vattendjup än det ursprungliga regnet med ledningsnät, vilket är logiskt. Detta visar på vikten av att ha ett fungerande ledningsnät även vid den här typen av extrema händelser. Utan fungerande ledningsnät fås ungefär samma resultat som vid ett regn med återkomsttiden 200 år.

#### **5.2.9. Terrängens betydelse för resultatet**

En alltför varierad terräng kan generera fel i simuleringen. Vid kraftiga skillnader i höjddled, som vid byggnader där vattnet rinner ner från taken, kan det leda till numeriska instabiliteter som gör att simuleringen avbryts. Dock skulle en terrängmodell utan byggnader kunna visa felaktiga flöden. Simuleringarna visar att där storleken på de översvämmade områdena varierar mest mellan olika körningar är just vid tät bebyggelse (figur 30), vilket innebär att vid simulering utan hänsyn till byggnader kan den översvämmade ytan underskattas i tätbebyggda områden. Vid framtida exploatering på områden som idag är utan byggnader kan det då tänkas att mer vatten ansamlas än vad dessa simuleringar visar. Utanför bostadsområdena borde översvämningens utbredning vara större när det inte finns några byggnader som hindrar vattnets framfart. Från simuleringen utan byggnader fås lite större vattendjup i vissa områden, främst vid vägar. Vid vissa byggnader fås större vattendjup i den ursprungliga simuleringen, vilket borde vara rimligt då vattnet stängs in av byggnaderna. Dock varierar resultaten för mycket för att kunna dra några generella slutsatser.

#### **5.2.10. Resultat från jämförelsen med skyfallet 8 juli 2012**

Då uppgifter fanns om några områden som översvämmades vid skyfallet 8 juli 2012, var det intressant att jämföra detta med ett simulerat skyfall med samma storlek på nederbörden. Två olika regn har simulerats då det uppmätta regnet anses vara underskattat då mätaren var placerad i utkanten av regnområdet. Avrinningsområdet för den ursprungliga simuleringen har även använts vid denna kontroll eftersom skyfallet från år 2012 enligt uppgifter föll inom ungefär samma område.

Resultaten från simuleringarna stämmer inte helt överens med de områden som översvämmades (figur 31). Det kan bero på flera saker. Dels att information endast finns om hushåll och sjukhusbyggnader som översvämmades, vilket innebär att ingen jämförelse kan göras med vägar och andra stora områden. Dessutom var det svårt att veta exakt vilka hushåll som drabbades då kartan med den informationen var lite missvisande och endast runt 100 av de inrapporterade 130 hushållen fanns utmarkerade. Den mest troliga orsaken till skillnaderna är dock att det, enligt uppgifter, var mycket vatten som kom in ”bakvägen” då regnvatten läckte in i spillvattennätet och skapade där övertryck så sjukhusbyggnaderna översvämmades (Hernebring, 2014), vilket även skulle kunna gälla för de översvämmade hushållen. Därmed behöver inte vatten ansamlas precis utanför de översvämmade byggnaderna eftersom vattnet transporteras i ledningarna istället. En simulerad kontroll med skyfallet som föll 8 juli 2012 var därmed svår att genomföra då simuleringen visar ytavrinning och inte det vatten som transporterats via ledningsnätet.



Då sjukhusbyggnaden inte är med i simuleringen för regnet som föll år 2012, samt att den byggnad som ska rivas under 2015 är medräknad, kan en jämförelse även göras över hur dessa förändringar påverkar översvämningens utbredning. Kontroll 1 motsvarar ungefär ett regn med återkomsttiden 370 år och vid jämförelse med regnet som har återkomsttiden 1000 år ses att ytorna översvämmas i nästan samma utsträckning i båda fallen. I kontroll 1 ses att vatten ansamlas där den nya byggnaden planeras, men att vattnet efter byggnadens tillkomst istället ansamlas väster och norr om denna byggnad. Detta visar på hur stor betydelse den nya byggnaden får för hur regnet rinner och ansamlas och vikten av bra planering vid byggandet. Exempelvis skulle en dålig placering av den planerade byggnaden kunna leda till större vattendjup vid akutmottagningen. Markens höjd vid den nya byggnaden kan också påverka hur vattnet rinner och ansamlas, vilket skulle kunna undersökas i en hydraulisk modell. Vid den byggnad som ska rivas under året ses att mycket vatten ansamlas där oavsett om byggnaden finns där eller ej.

Om kontroll 2 ska användas vid en jämförelse av översvämningens utbredning får ledningsnätet större betydelse då detta regn har ett maximum under en del av regnet som motsvarar återkomsttiden 32 år. På grund av den låga återkomsttiden har inget avdrag gjorts för ledningsnätets kapacitet vid denna simulering då ett sådant avdrag skulle innebära att i princip allt vatten ryms i ledningsnätet och ingen översvämning sker på markytan. För att beskriva avrinningen mer korrekt för det uppmätta regnet skulle ledningsnätet behöva läggas in i simuleringen, dock skulle det innebära en mer avancerad modell. Då det uppmätta regnet troligen är betydligt mindre än det faktiska regnet som föll 8 juli 2012 anses det vara tillräckligt noggrant att inte göra något avdrag för ledningsnätet i detta fall.

En enkel jämförelse kan även göras med skyfallet som föll 22 juli 2011 där delar av Knektgatan, bäcken vid Mälarparken och E18 vid Folkparksmotet svämmades över. Dessa områden ligger inom det simulerade avrinningsområdet och alla översvämmas vid båda kontrollerna (samt vid de andra simuleringarna). Emausmotet, som också översvämmades 2011, ligger utanför det simulerade avrinningsområdet. Enligt SMHI:s kartering är det en lågpunkt där så en hydraulisk modellering skulle kunna visa att även detta område översvämmas.

### **5.3. SMHI:s LÅGPUNKTSKARTERING JÄMFÖRT MED MIKE 21 FLOW MODEL**

Här diskuteras vad som skiljer resultaten åt från SMHI:s lågpunktskartering och främst från ursprungssimuleringen med MIKE 21 Flow Model. Även de olika analysmetoderna jämförs.

#### **5.3.1. Jämförelse av resultaten från respektive metod**

Enligt SMHI:s kartering finns många lågpunktsområden i Västerås stad som riskerar att översvämmas, dock visar simuleringar med MIKE 21 att vatten inte ansamlas i alla dessa låga områden vid det simulerade regnet med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter. Detta beror till stor del på att lågpunktskarteringen enbart utgår från terrängen medan MIKE 21 simulerar faktiska vattenflöden. En annan orsak

kan även vara att ett regn med återkomsttiden 100 år inte har tillräckligt stor volym för att fylla fler lågpunkter. Från MIKE 21 ses även att vissa områden översvämmas med ett vattendjup på minst 0,2 m (figur 32) som inte är utmarkerade som lågpunktsområden. Det gäller främst vid tät bebyggelse, vilket innebär att byggnader har en stor påverkan på hur vattnet flödar och ansamlas. Det finns även fler lågpunktsområden med ett djup på minst 1 m än vad som översvämmas med samma vattendjup. Låga områden där vatten faktiskt ansamlas med detta djup för ett regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter är vid vägunderfarter och intill byggnader. Ungefär lika många samhällsviktiga objekt, förutom nätstationer, drabbas av översvämning vid ett regn med återkomsttiden 100 år samt ligger i lågpunktsområden. Dock ligger inte alla objekt i samma områden vid de båda undersökningarna. Anledningen att många nätstationer missas vid jämförelsen med SMHI:s kartering beror främst på att de ligger i bostadsområden som inte är lågpunkter men där exempelvis byggnaderna och markens egenskaper gör att regnvatten ändå ansamlas här. De fyra nätstationerna som enligt MIKE 21 ligger i stora översvämmade områden ( $> 10\,000\text{ m}^2$ ) ligger kring industribyggnaderna vid Ängsgärdet, vilket inte är ett lågpunktsområde enligt SMHI.

När lågpunktskarteringen jämförs med ett regn med återkomsttiden 100 år fylls en mindre del av lågpunkterna med vatten. Lågpunktskarteringen motsvarar då bättre ett regn med återkomsttiden 1000 år om ett djup på minst 0,2 m jämförs. Det gäller främst för sjukhusområdet, vid Skiljebo, Korsängsmotet (Väg 2), Folkparksmotet (Väg 3) och Pilgatan (Väg 4). Men i hela centrala hamnområdet, vid Ängsgärdet och i bostadsområdena Sandgärdet, Haga och Viksäng kan stora delar översvämmas som inte är klassade som lågpunktsområden.

### **5.3.2. Val av analysmetod vid skyfallskartering**

Idag finns ingen standardmetod för att göra en skyfallskartering. I denna studie har två olika metoder undersökts där den ena är en lågpunktskartering, vilken är enklare att genomföra och kan täcka en större yta med en relativt liten arbetsinsats. Den andra metoden är en hydraulisk modellering som simulerar faktiska flöden men kräver betydligt mer information, större arbetsinsats och är känsligare för störningar. Fördelen med hydraulisk modellering är att hänsyn kan tas till byggnader och olika marktyper.

För att förbättra modellen ytterligare kan den hydrauliska modellen kopplas ihop med en endimensionell hydraulisk modell över ledningsnätet för att simulera alla vattenvägar i området. Dock är det ett tidskrävande arbete för ett sådant stort område som beskrivs i denna rapport. En sådan modell skulle sannolikt inte ge allt för stor effekt på resultatet vid de kraftiga regn som har simulerats i denna undersökning, därför anses det rimligt att göra ett schablonavdrag istället.

## **5.4. FRAMTIDEN FÖR VÄSTERÅS**

I Västerås översiktsplan beskrivs vikten av att ha kvar många grönområden som "buffertzoner" vid håftiga skyfall där regnvattnet kan infiltrera (Johansson m.fl., 2012). Detta kan vara bra att eftersträva då det redan idag finns flera grönområden som ser ut

att översvämmas, bland annat norr om Skiljebo, norr om Haga samt vid korsningen Viksängsgatan/Österleden. Om dessa ytor istället skulle hårdgöras kommer vattnet rinna lättare här och ännu mer vatten kan ansamlas på grund av en lägre infiltration. Vid simuleringen med  $M = 75$ , vilket skulle kunna representera mer hårdgjorda ytor, sågs att vattnet ansamlades snabbare i lågpunkter än vid lägre värden på  $M$ .

I Västerås risk- och sårbarhetsanalys (2012) finns några åtgärder listade för att motverka effekterna från skyfall. Exempel på åtgärder är att använda lokalt omhändertagande av dagvatten, anpassa byggnader så de inte skadas av översvämningar samt att införa fördröjningsmagasin i känsliga områden (Västerås Stads stadsledningskontor, 2012). Anpassning till ett extremare klimat är viktigt då mycket tyder på att klimatet kommer fortsätta att ändras även i framtiden. Exempel på anpassningsåtgärder är att ha alternativa rinnvägar (exempelvis vägar) vid extrema situationer och tillåta att grönområden (exempelvis fotbollsplaner) översvämmas. SMHI har under mars 2015 publicerat en rapport, ”Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat” (SMHI, 2015), där klimatarbetet internationellt och lokalt sammanställs och där fler tips på vidare anpassningsarbete finns samt hur arbetet kan fördelas bland olika aktörer.

Redan idag orsakar skyfall kostsamma konsekvenser för samhället. Ytterligare exploatering, med mer infrastruktur och byggnader, kan öka dessa kostnader. Dock beror konsekvensernas omfattning mycket på var regnet faller (i staden eller utanför), hur kraftigt regnet är samt hur staden planeras och var den förtätas. Hur kraftigt ett simulerat regn för framtiden ska vara har i denna studie sitt ursprung från de scenarion som IPCC har tagit fram. Om trenden för det framtida klimatet skulle förändras kan nya simuleringar göras med hänsyn till något av de andra scenarierna, eller med en annan klimatfaktor som passar bättre. Då förändringar i klimatet sker relativt långsamt har dock samhället en möjlighet att anpassa sig till framtida klimat.

## 6. SLUTSATSER

Utifrån den lågpunktskartering som har undersökts samt från de hydrauliska simuleringar som har gjorts kan följande slutsatser dras:

- I Västerås stad finns många lågpunktsområden där viktiga objekt riskerar att översvämmas vid skyfall. Främst gäller det sjukhuset, bil- och cykelunderfarter, nätstationer samt flera mindre bostadsområden.
- Hydrauliska simuleringar av ett regn med återkomsttiden 100 år visar att vatten ansamlas med ett djup på minst 1m i flera områden, exempelvis vid flera stora vägunderfarter och vid sjukhusområdet.
- Hydrauliska simuleringar av ett regn med återkomsttiden 100 år visar även att stora ytor översvämmas och då främst vid sjukhusområdet och vid bostadsområden med tät bebyggelse.

- För sjukhusområdet visar simuleringen att de största vattendjupen fås vid akutmottagningen samt vid den planerade sjukhusbyggnaden. Störst översvämmad yta erhålls vid sjukhusbyggnaderna för godsmottagning samt för ätstörningsmottagning. Troligen kommer placeringen och höjdsättningen av den planerade sjukhusbyggnaden i stor grad påverka hur mycket vatten som ansamlas kring byggnaden.
- Störst skillnad i översvämningens utbredning vid olika konstanta värden på Mannings tal jämfört med varierande värden på Mannings tal utifrån marktyp ses kring sjukhusbyggnaderna. Resultatet från ett konstant Mannings tal på 20 skiljer sig mest från resultaten med varierande Mannings tal utifrån marktyp där den översvämmade ytan överskattas vid ett Mannings tal på 20.
- Att ansätta ett konstant Mannings tal på 40 hade varit en rimlig förenkling att göra för simuleringen av detta område.
- Regn med längre återkomsttid ger en liten ökning av vattendjup men en större utbredning av översvämmad yta. Betydligt större områden översvämmas vid ett regn med återkomsttiden 1000 år jämfört med 100 år.
- Inom sjukhusområdets avrinningsområde finns flera lågpunktsområden där vatten inte ansamlas medan vissa områden som enligt SMHI inte är lågpunktsområden översvämmas enligt simuleringarna, det senare gäller främst bostadsområden och längs E 18.
- Av de simulerade regnen motsvarar SMHI:s lågpunktskartering bäst ett regn med återkomsttiden 1000 år.

## REFERENSER

- Andersson, M., 2014. *Kommunal klimatanpassning; arbetssätt och behov - En fallstudie för Västmanland* (Nr. 12), Länsstyrelsens rapportserie. Samhällsbyggnadsenheten, Länsstyrelsen i Västmanlands län, Västerås.
- Dahlström, B., 2010. *Regnintensitet - en molnfysikalisk betraktelse* (Nr. 5). Svenskt Vatten Utveckling, Stockholm.
- DHI, 2014a. MIKE 21 Flow Model Hydrodynamic Module - User Guide.
- DHI, 2014b. MIKE by DHI 2014, MIKE Zero. DHI, Hörsholm, Danmark.
- DHI, 2013. Utredning av avloppssystemets funktion med anledning av inträffade översvämningar inom Västerås centralort den 8/7 2012. Mälarenergi, Göteborg.
- Enander, M., 2015. Skyfall och översvämningsrisker - nya analyser av länets tätorter.
- Folksam, 2015. Anpassning till ett förändrat klimat - Tillståndet i kommunerna år 2015. Folksam, Stockholm.
- Ghodsi, M., 2015. Ny rapport: Kommunerna står utan skydd vid skyfall och stormar. Folksam. <http://media.folksam.se/sv/2015/03/06/ny-rapport-kommunerna-star-utan-skydd-vid-skyfall-och-stormar/> (2015-04-07).
- Grahn, T., Nyberg, L., 2010. *Ekonomiska konsekvenser av kraftiga skyfall - tre fallstudier* (Nr. 0187-10). MSB, Karlstad.
- Henonin, J., Russo, B., Mark, O., Gourbesville, P., 2013. *Real-time urban flood forecasting and modeling - a state of the art*. J. Hydroinformatics (Nr. 15), 717–736.
- Hernebring, C., 2014. Utjämningsmagasin på spillvattennätet vid centrallasarettet i Västerås. Mälarenergi, Göteborg.
- IPCC, 2013. *FN:s klimatpanel, Klimatförändring 2013, Den naturvetenskapliga grunden - Sammanfattning för beslutsfattare*. (Nr. 6592). Naturvårdsverket, Stockholm.
- IPCC, 2008. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. IPCC, Geneve, Switzerland.
- Johansson, P., Gustafsson, L., Legrell Crona, I., Nylander, S., Bartosiak, J., Tyréns AB, 2012. *Västerås Översiktsplan 2026 - med utblick mot 2050*. Västerås stad, Västerås.
- Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2014. *Skyfallskartering i GIS - Arbetssätt och metod* (Nr. 28). Länsstyrelsen i Jönköpings län, Jönköping.



- Lantmäteriet, 2015. GeoLex. Lantmäteriet. <http://www.geolex.lm.se/> (2015-03-16).
- Lantmäteriet, 2014. Produktbeskrivning GSD-höjddata, grid 2+.
- Lantmäteriet, 2007. SWEREF 99, projektioner. Lantmäteriet.  
<http://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/Referenssystem/Tvadimensionella-system/SWEREF-99-projektioner/> (2015-02-26).
- Liderfelt, D., Ahlström, J., 2012. Översiktlig utredning av konsekvenser efter ovädret 22 juli 2011. Västerås kommun, Västerås.
- Lind, M., 2014. En analys av söndagens åskoväder över Stockholm, del 2. SMHI.  
<http://www.smhi.se/bloggar/vaderleken/2014/07/> (2015-05-06).
- Mårtensson, E., Gustafsson, L.-G., 2014. *Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet - Framtagande av metodik för utredning på kommunal nivå* (Nr. MSB694). MSB, Malmö.
- Mårtensson, E., Hernebring, C., 2013. *Pluviala översvämningar - Konsekvenser vid skyfall över tätorter, en kunskapsöversikt* (Nr. MSB567). MSB, Göteborg och Lund.
- Naturvårdsverket, 2014. Nationella utsläpp av växthusgaser. Naturvårdsverket.  
<http://www.naturvardsverket.se/klimat2013> (2015-02-09).
- Nurkkala, M., Enander, M., van der Horst, J., 2013. *Klimatstrategi för Västmanlands län - en del av det Regionala Utvecklingsprogrammet* (Nr. 12). Länsstyrelsen i Västmanlands län, Västerås.
- Olsson, J., Foster, K., 2013. *Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige* (Nr. 6), Klimatologi. SMHI, Norrköping.
- Parnfelt, K., 2012. Riskanalys översvämning 2012-07-08. Landstinget Västmanland, Västerås.
- Persson, G., Sjökvist, E., Gustavsson, H., Andréasson, J., Hallberg, K., 2012. *Klimatanalys för Västmanlands län* (Nr. 10). Norrköping.
- Rummukainen, M., 2005. *Växthuseffekten* (Nr. 119). SMHI, Norrköping.
- SCB, 2014. Folkmängd, landareal och invånare per kvadratkilometer i tätort efter region och typ av område. Vart femte år 2005 - 2010. Statistiska Centralbyrån.  
[http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_MI\\_MI0810\\_MI0810A/BefLandInvKvmTO/table/tableViewLayout1/?rxid=305fd577-ae6d-4588-9e0b-53fb90d9008a](http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0810_MI0810A/BefLandInvKvmTO/table/tableViewLayout1/?rxid=305fd577-ae6d-4588-9e0b-53fb90d9008a) (2015-03-13).

- Schneider, V.R., Arcement, G.J., 1989. *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains* (Nr. 2339). United States Geological Survey Water, Washington DC.
- SMHI, 2015. *Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat* (Nr. 12), Klimatologi. SMHI, Norrköping.
- SMHI, 2014a. Dataserier med normalvärden för perioden 1961-1990. SMHI. <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/dataserier-med-normalvarden-1.7354> (2015-02-13).
- SMHI, 2014b. IPCCs femte utvärdering (AR5). SMHI. <http://www.smhi.se/2.2428/ipccs-femte-utvardering-ar5-1.35333> (2015-02-27).
- SMHI, 2014c. Arkiv klimatscenarier. SMHI. <http://www.smhi.se/klimatdata/framtidens-klimat/arkiv-klimatscenarier> (2015-02-03).
- SMHI, 2014d. Klimatindikator - nederbörd. SMHI. <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/nederbord/klimatindikator-nederbord-1.2887> (2015-02-03).
- SMHI, 2014e. Rotblöta och skyfall. SMHI. <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/rotblota-1.17339> (2015-03-03).
- SMHI, 2014f. Antalet fall med kraftig dygnsnederbörd. SMHI. <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/antalet-fall-med-kraftig-dygnsnederbord-1.76946> (2015-03-03).
- SMHI, 2014g. Extremt kraftigt regn över Malmö. SMHI. <http://www.smhi.se/nyhetsarkiv/extremt-kraftigt-regn-over-malmo-1.77503> (2015-05-06).
- SMHI, 2014h. Största dygnsnederbörd. SMHI. <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/storsta-dygnsnederbord-1.76922> (2015-03-04).
- SMHI, 2013a. Klimatscenarier. SMHI. <http://www.smhi.se/klimatdata/framtidens-klimat/2.2248/2.2252/2.2264?area=lan&var=t&sc=rcp85&seas=ar&dnr=0&sp=sv&sx=0&sy=0#area=lan&dnr=19&sc=rcp85&seas=ar&var=t> (2015-03-02).
- SMHI, 2013b. Intensiv nederbörd och hydrologisk risk . SMHI. <http://www.smhi.se/forskning/forskningsomraden/hydrologi/intensiv-nederbord-och-hydrologisk-risk-1.30668> (2015-05-04).
- Söderberg, K., Laneborg, E., Ekenberg, L., Bratt, A., Falk, A.-M., Alfredsson, C., Wern, L., Fallsvik, J., Bäckman, H., Pålsson, A., Lindberg, G., Ahlberg, J., 2011. *Händelsescenario för Risk- och sårbarhetsanalys - Skyfall i nutid och framtid*. Länsstyrelserna, Västervik.

Svenskt Vatten, 2011. *Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem* (Nr. P104). Svenskt Vatten, Stockholm.

Svenskt Vatten, 2004. *Dimensionering av allmänna avloppsledningar* (Nr. P90). Svenskt Vatten, Stockholm.

Vägverket, 2008. *VVMB 310 - Hydraulisk dimensionering* (Nr. 61). Vägverket, Borlänge.

Västerås stads stadsledningskontor, 2012. *Risk- och sårbarhetsanalys - Västerås kommun 2011*. Västerås kommun, Västerås.

Von Zeipel, M., 2015. Göteborg utsedd till årets klimatstad 2015. WWF.  
<http://news.cision.com/se/varldsnaturfonden-wwf/r/goteborg-utsedd-till-sveriges-klimatstad-2015,c9739556> (2015-04-07).

Weyant, J., Azar, C., Kainuma, M., Kejun, J., Nakicenovic, N., Shukla, P.R., La Rovere, E., Yohe, G., 2009. *Future IPCC Activities - New Scenarios. Report of 2,6 Versus 2,9 Watts/m2 RCPP Evaluation Panel*. IPCC, Schweiz.

### **Personliga meddelanden**

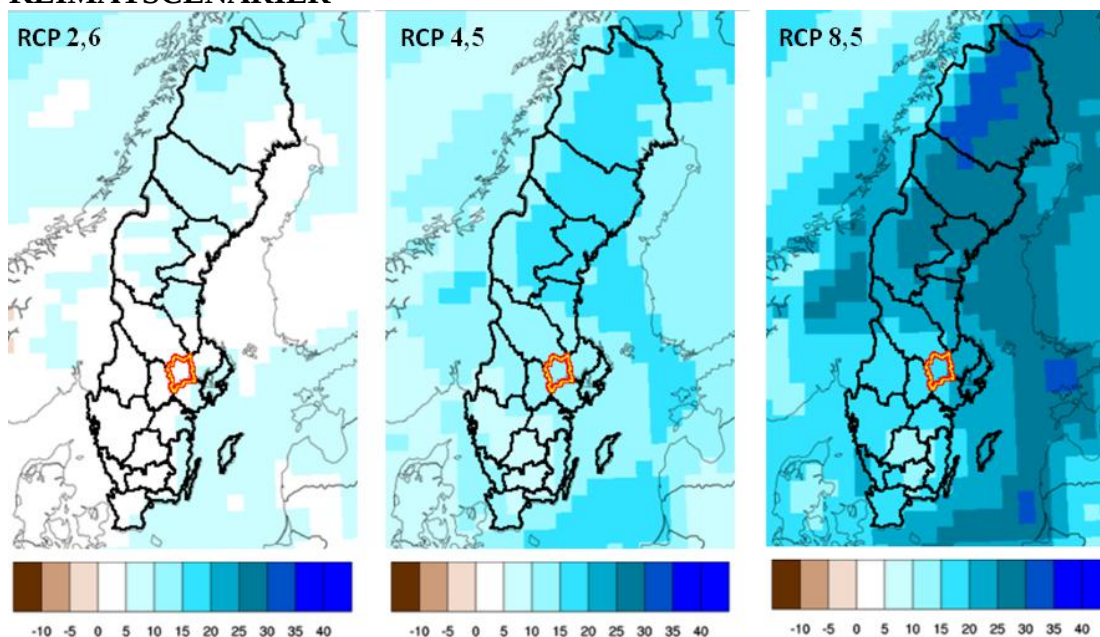
Hallberg, Kristoffer, hydrolog, SMHI.

Nore, Maria, utredare på Vatten och Avlopp, Mälarenergi.

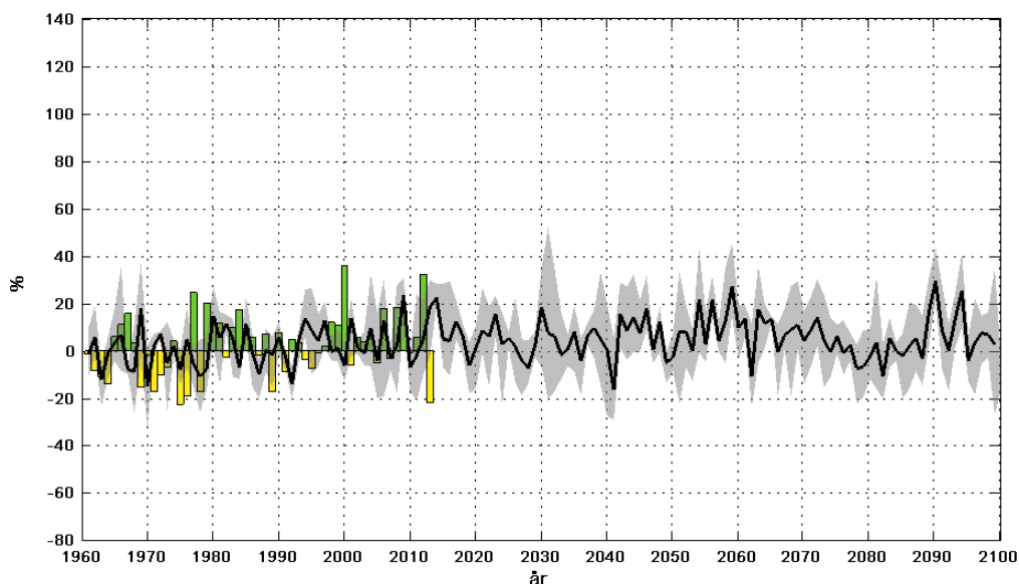
Parnfelt, Kent, på avdelningen Fastighet/Projekt-VVS på Västmanlands sjukhus Västerås, Landstinget Västmanland.

## BILAGOR

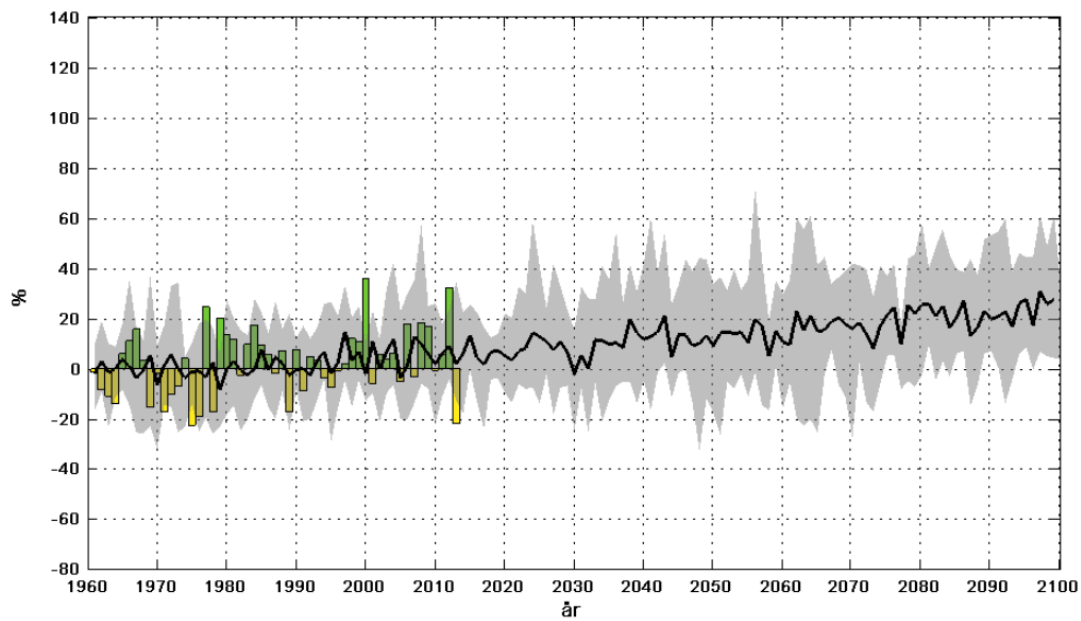
### BILAGA 1. FRAMTIDA NEDERBÖRD I SVERIGE ENLIGT IPCC:S KLIMATSCENARIER



**Figur 35.** Årsnederbördens beräknade förändring (%) för perioden 2071-2100 jämfört med 1971-2000 enligt scenarierna RCP2,6, RCP4,5 respektive RCP8,5. Scenarierna visar ett genomsnitt av flera olika klimatscenarier. Västmanlands län är markerat på kartan (SMHI, 2013a).



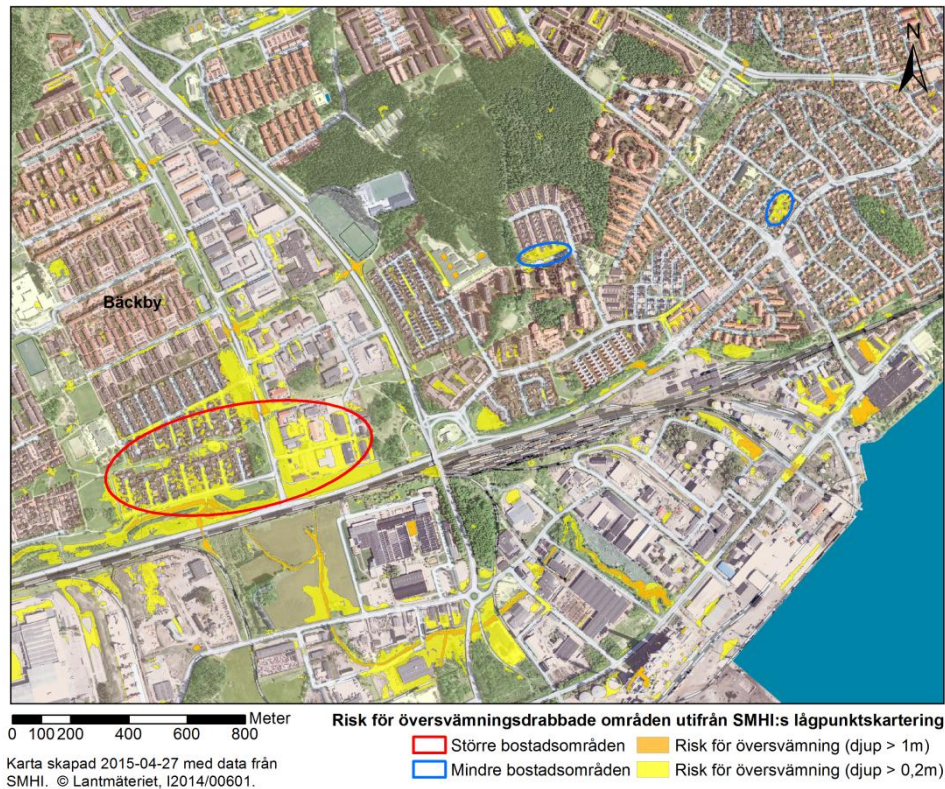
**Figur 36.** Förändringen av årsnederbörden (%) i Västmanlands län under perioden 1961-2100 jämfört med normalperioden 1961-1990. Staplarna är medelvärden från observationer där de gröna staplarna överstiger den normala nederbörden under normalperioden och de gula har mindre nederbörds mängd än normalt. Den svarta kurvan representerar ett medelvärde från nio olika klimatscenarier för scenario RCP 2,6 och det grå fältet visar variationen för klimatscenarierna (SMHI, 2013a).



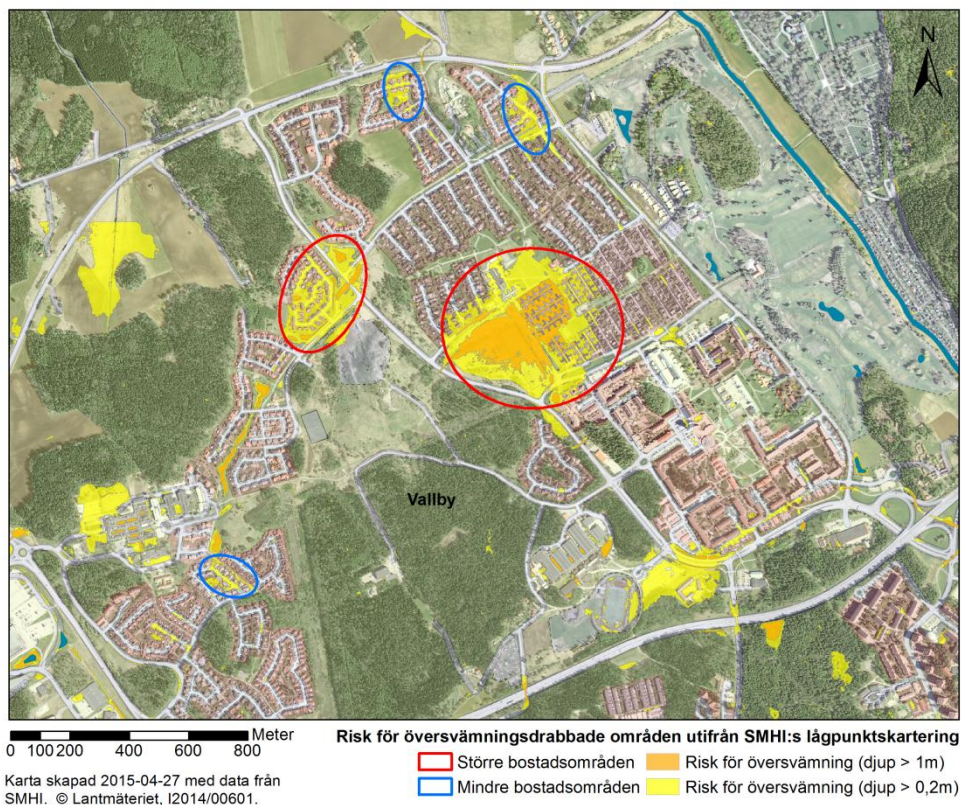
**Figur 37.** Förändringen av årsnederbörden (%) i Västmanlands län under perioden 1961-2100 jämfört med normalperioden 1961-1990. Staplarna är medelvärden från observationer där de gröna staplarna överstiger den normala nederbörden under normalperioden och de gula har mindre nederbörds mängd än normalt. Den svarta kurvan representerar ett medelvärde från nio olika klimatscenarier för scenario RCP 8,5 och det grå fältet visar variationen för klimatscenerierna (SMHI, 2013a).



## BILAGA 2. BOSTADSOMRÅDEN I LÅGPUNKTSOMRÅDEN

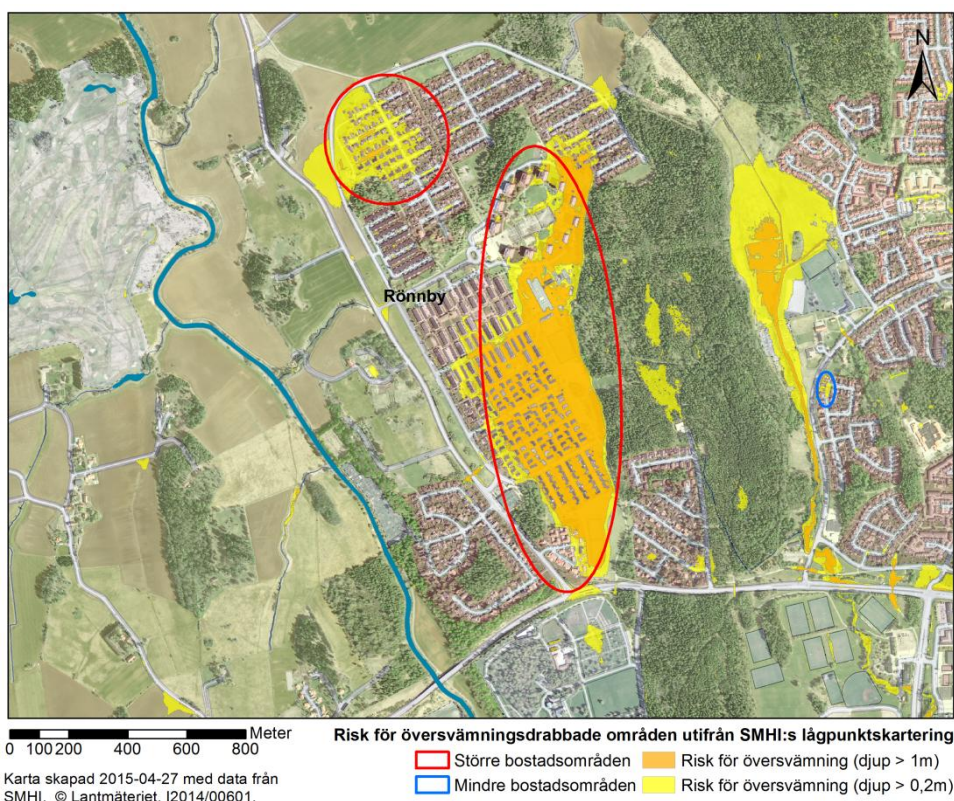


**Figur 38.** Större bostadsområde i södra Bäckby som riskerar att drabbas av översvämningar från skyfall med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering.

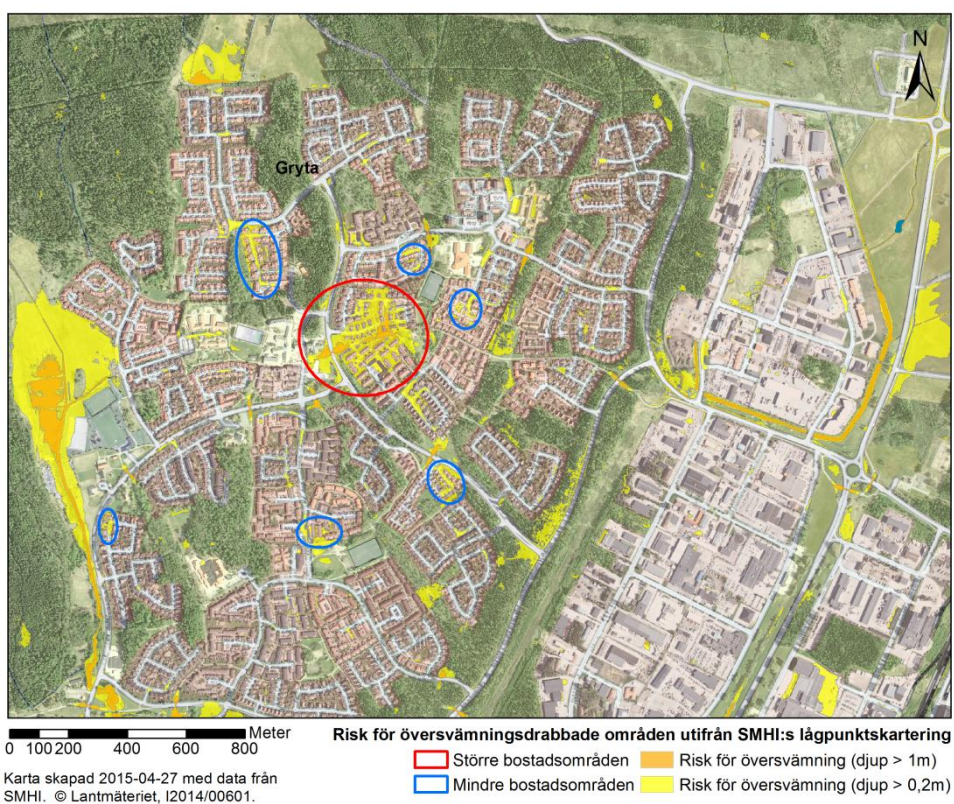


**Figur 39.** Större bostadsområde i norra Vallby som riskerar att drabbas av översvämningar från skyfall med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering.



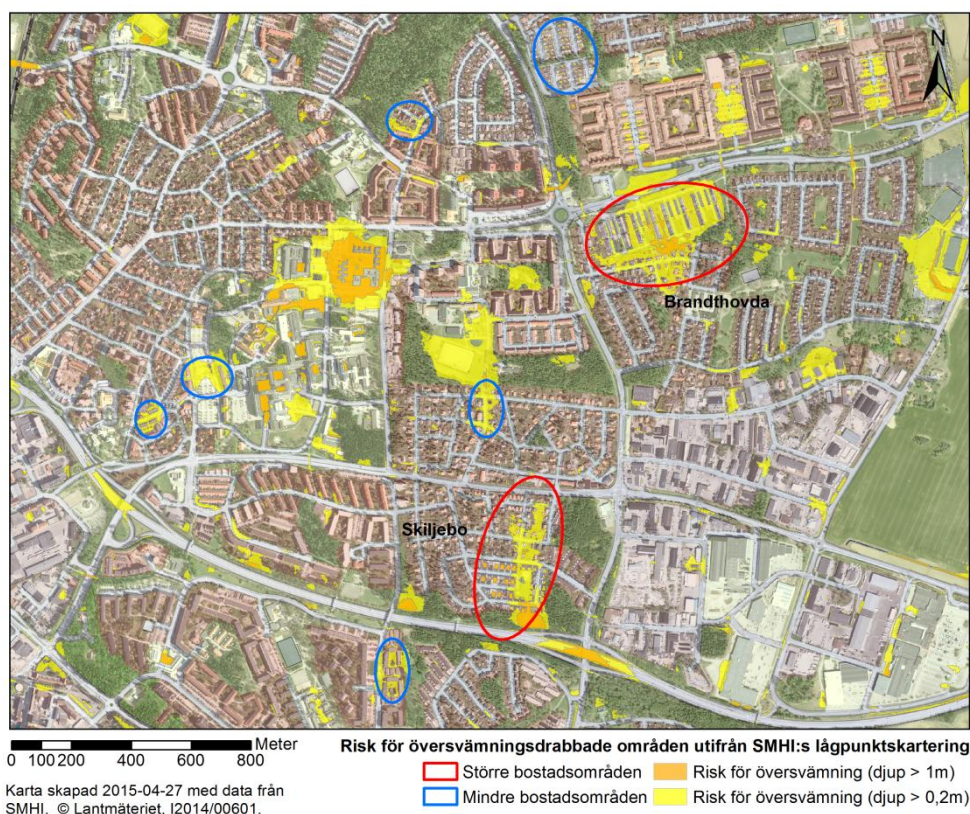


**Figur 40.** Större bostadsområde i Rönnby som riskerar att drabbas av översvämningar från skyfall med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering.



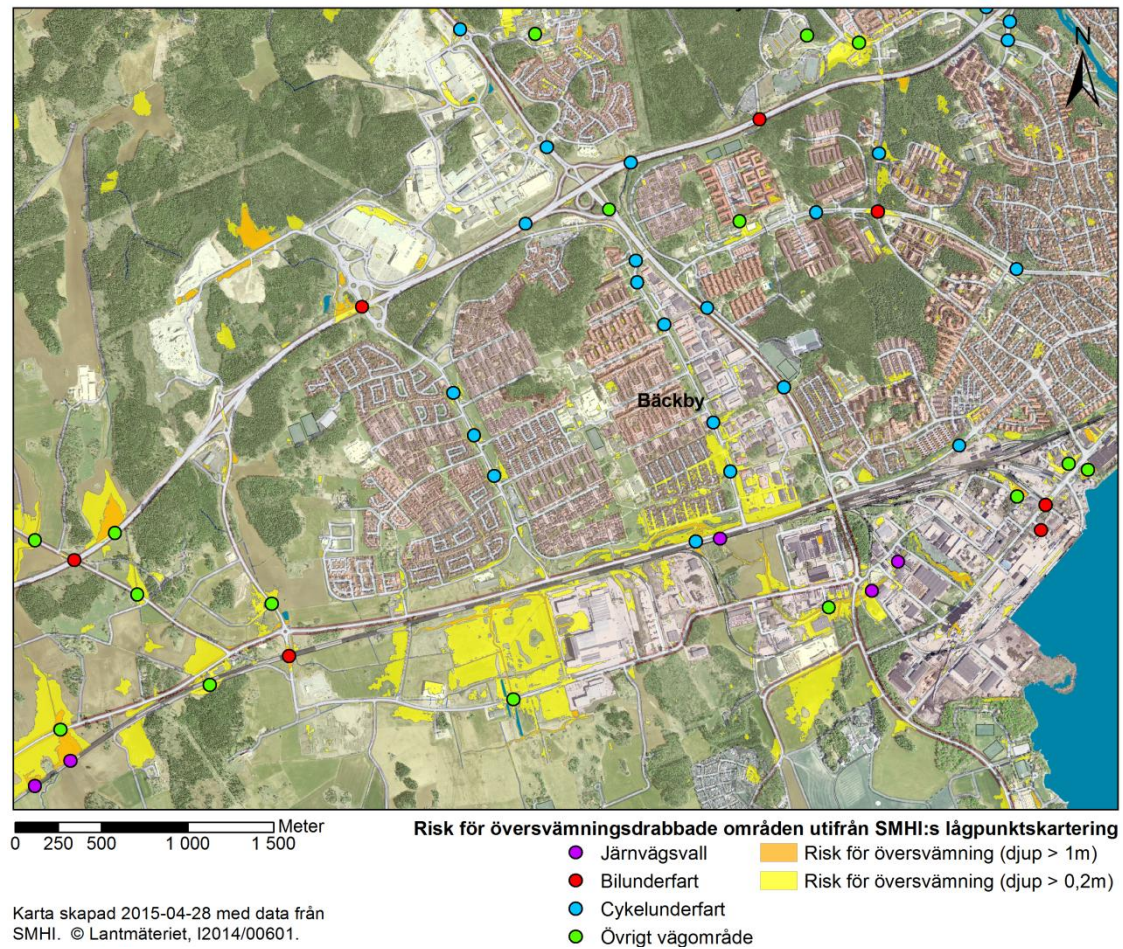
**Figur 41.** Större bostadsområde i norra Gryta som riskerar att drabbas av översvämningar från skyfall med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering.





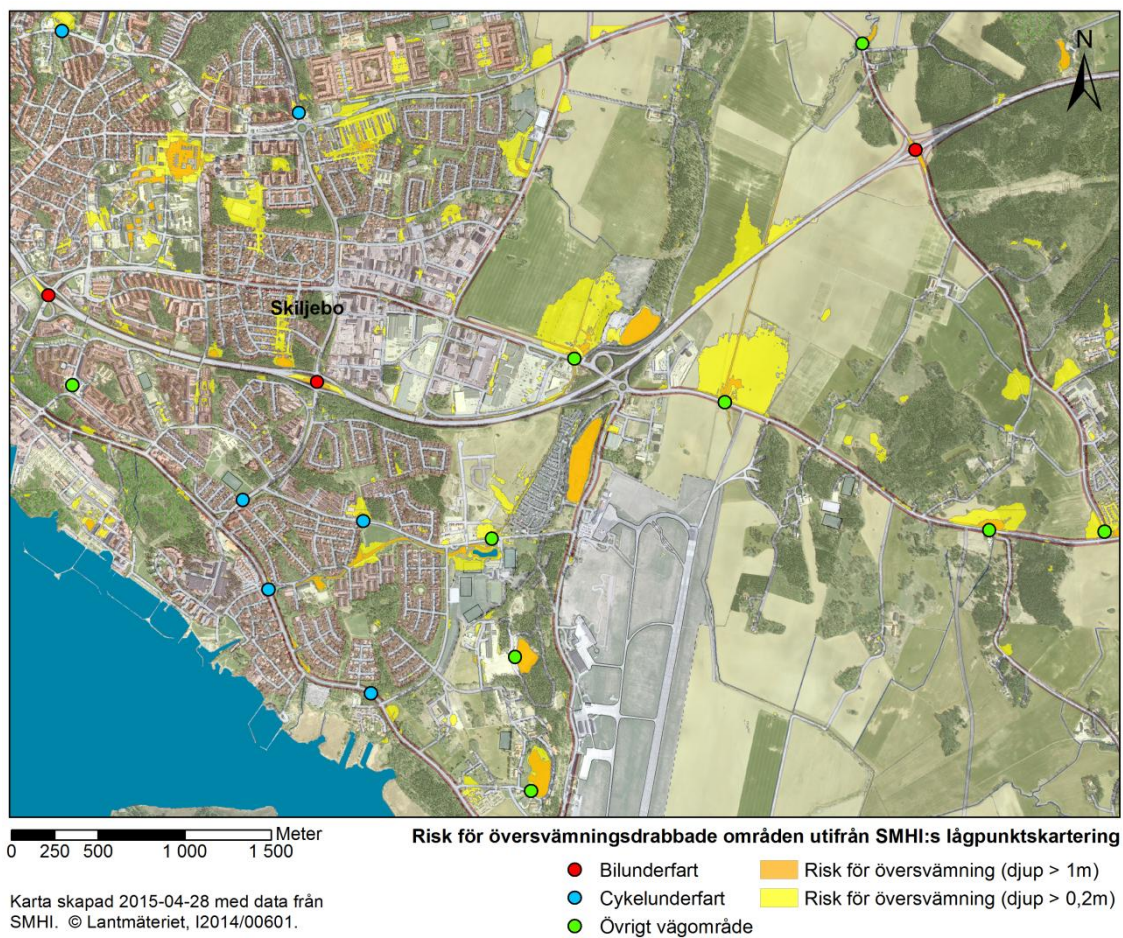
**Figur 42.** Större bostadsområde i södra Skiljebo och i Brandthovda som riskerar att drabbas av översvämnningar från skyfall med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering.

### BILAGA 3. VÄGOMRÅDEN I LÅGPUNKTSOMRÅDEN

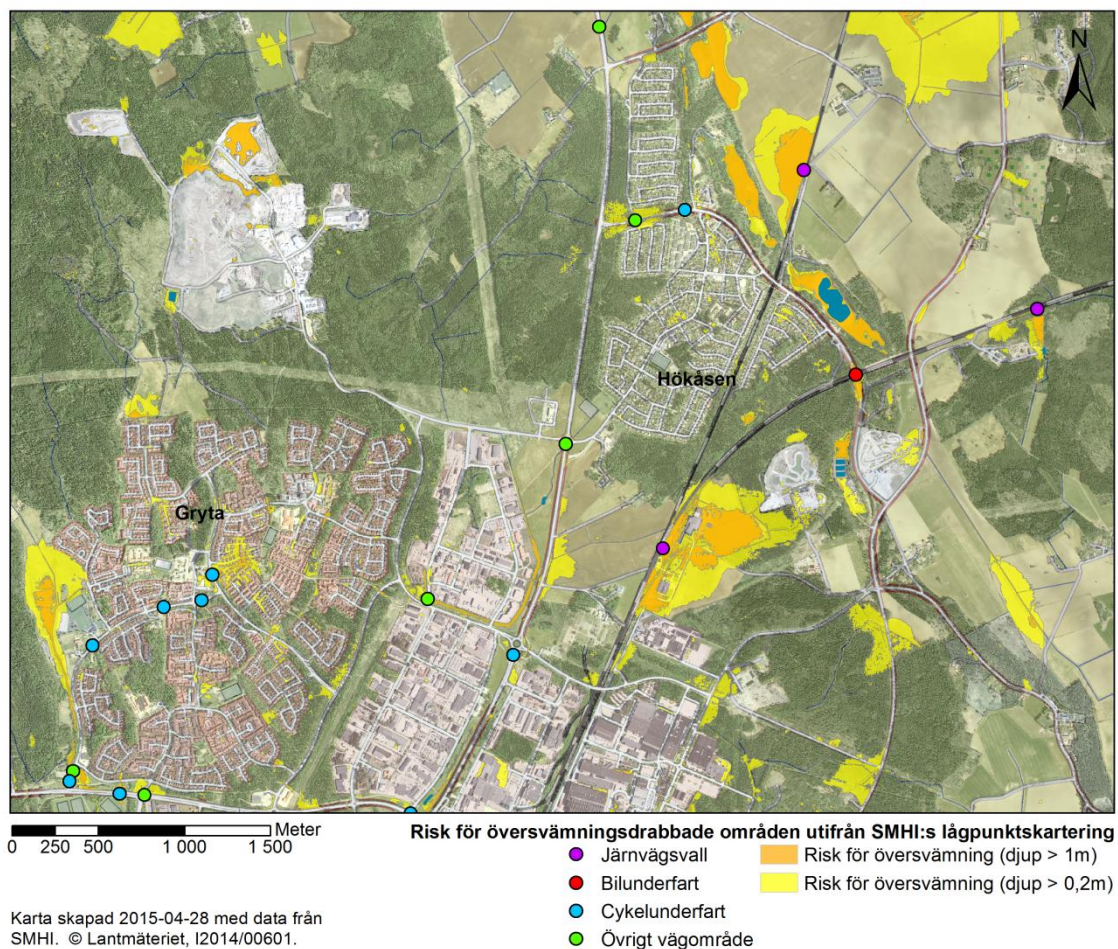


**Figur 43.** Karta över västra delen av Västerås där cykelunderfarter, delar av järnvägsvallen, övriga vägområden samt några stora vägunderfarter som riskerar att drabbas vid skyfall är utmarkerade med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering.



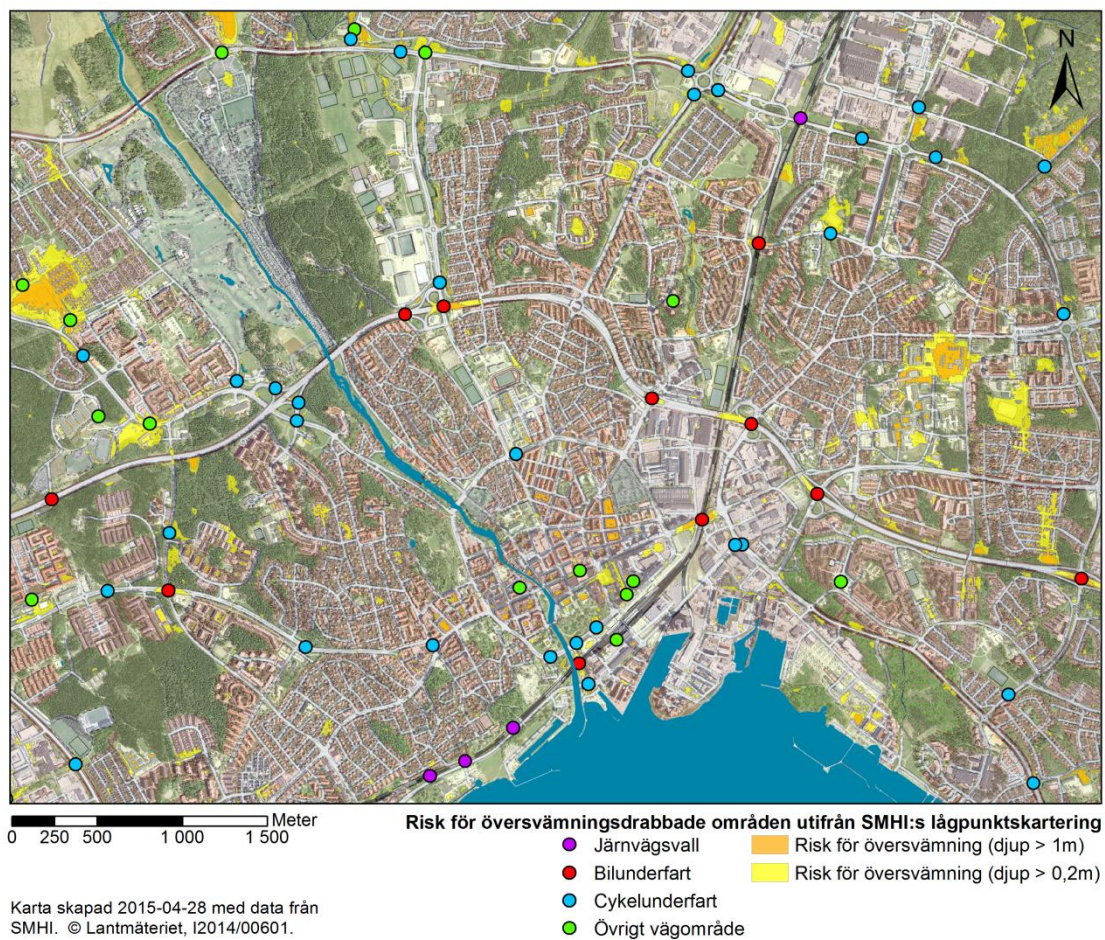


**Figur 44.** Karta över östtra delen av Västerås där cykelunderfarter, övriga vägområden samt några stora vägunderfarter som riskerar att drabbas vid skyfall är utmarkerade med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering.

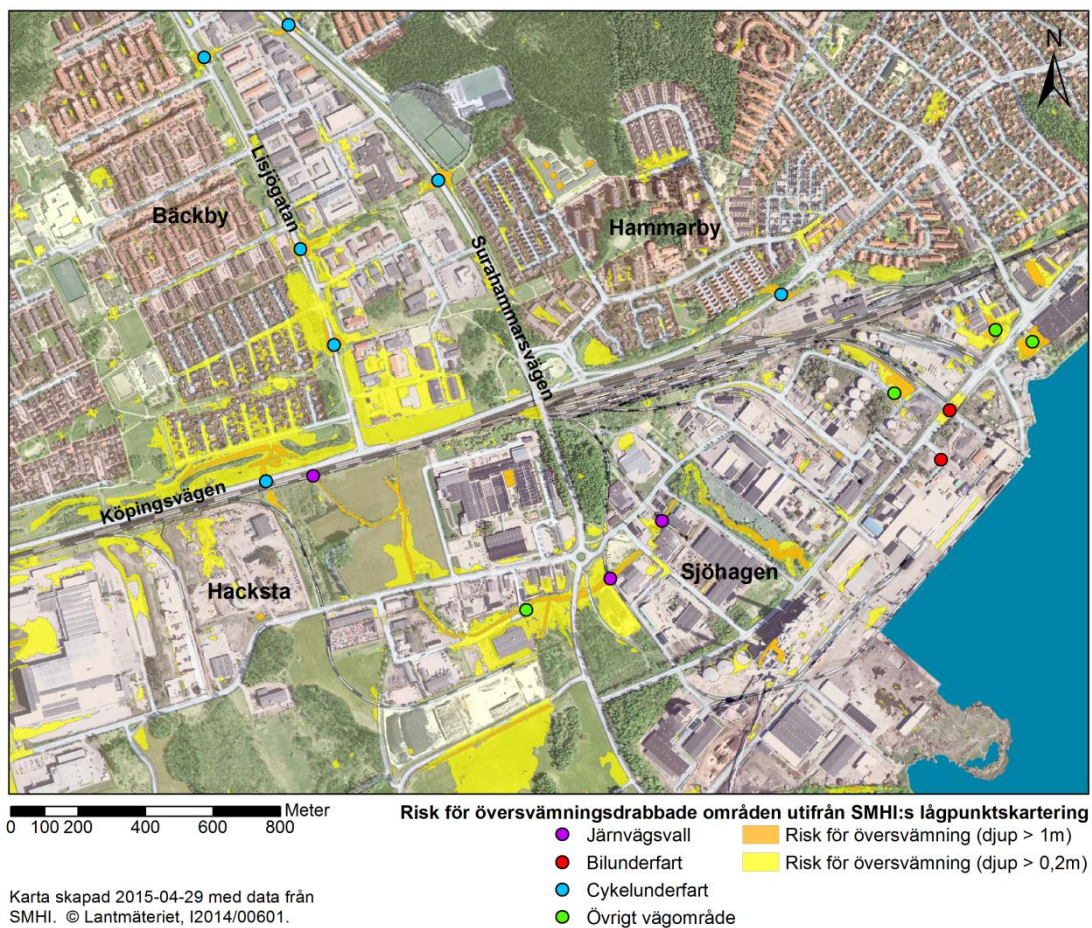


**Figur 45.** Karta över norra delen av Västerås där cykelunderfarter, delar av järnvägsvallen, övriga vägområden samt några stora vägunderfarter som riskerar att drabbas vid skyfall är utmarkerade med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering.



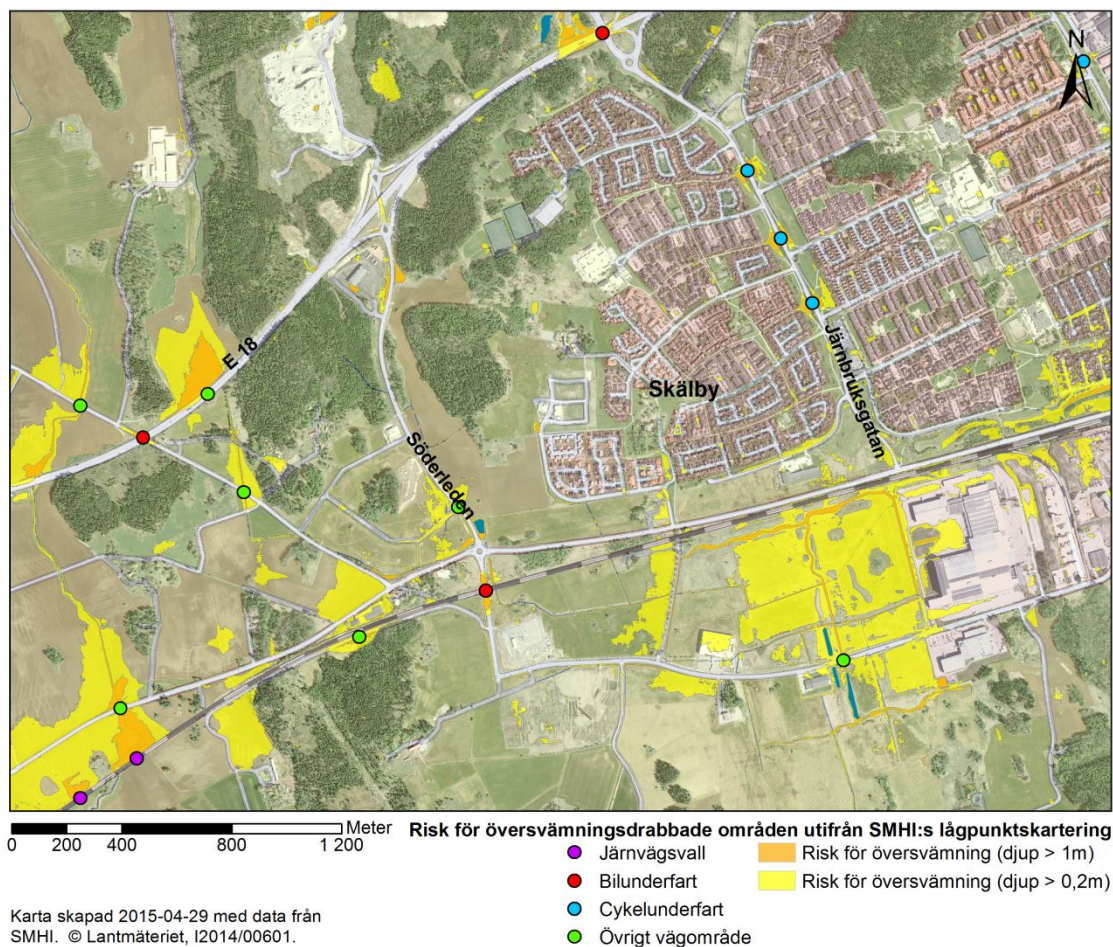


**Figur 46.** Karta över centrala Västerås där cykelunderfarter, delar av järnvägsvallen, övriga vägområden samt några stora vägunderfarter som riskerar att drabbas vid skyfall är utmarkerade med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering.

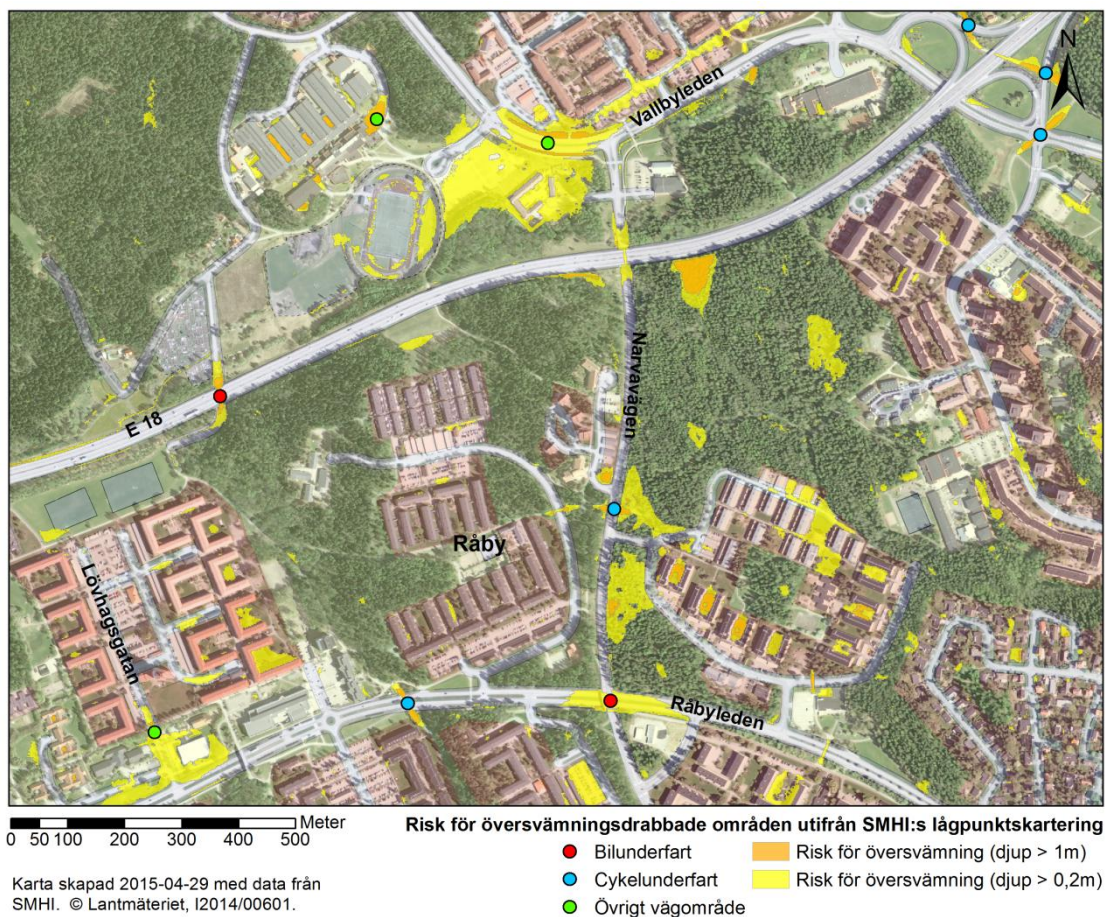


**Figur 47.** Karta över Bäckby/Hacksta/Hammarby där flera cykelunderfarter längs Köpingsvägen, Lisjögatan samt Surahammarsvägen riskerar att översvämmas vid skyfall, med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering. Vid industriområdet i Sjöheden riskerar järnvägsvallen att översvämmas på flera ställen. Vattendraget genom området bidrar till en ökad översvämningsrisk för de omkringliggande bilvägarna.



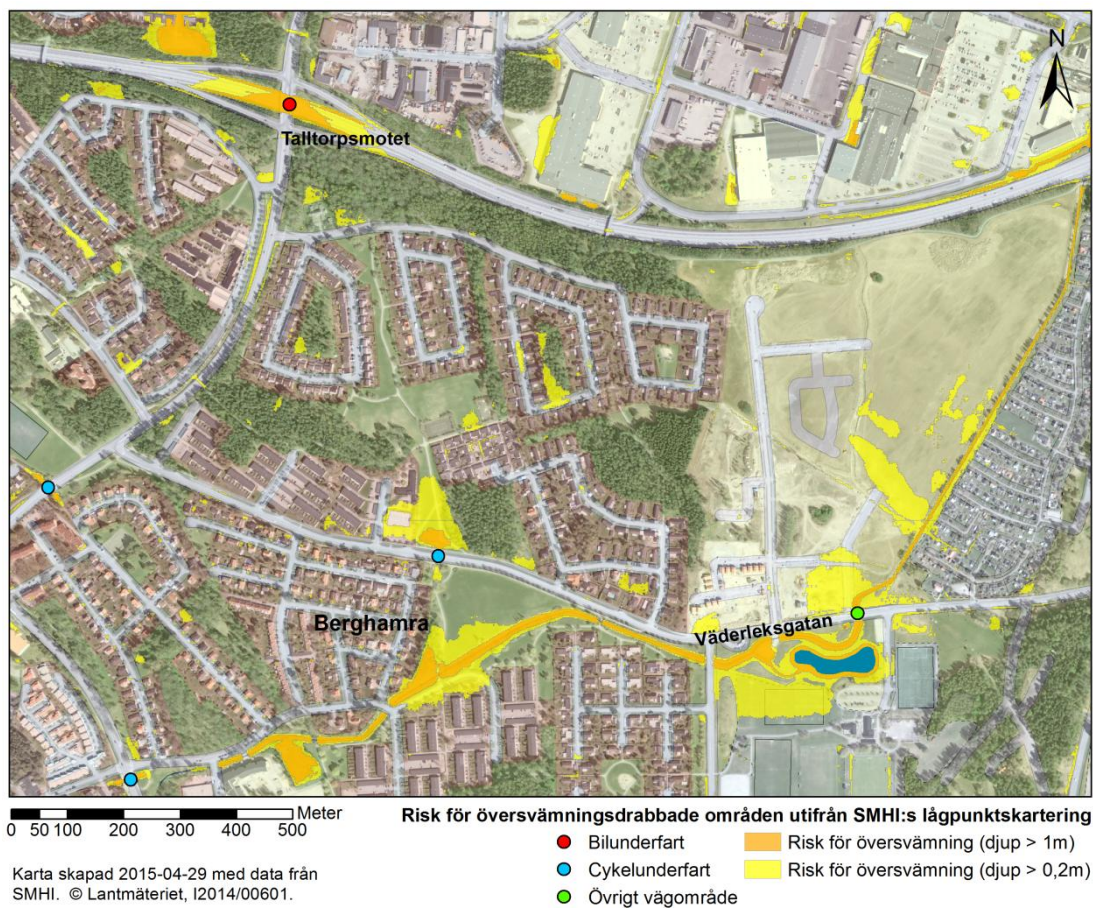


**Figur 48.** Utifrån SMHI:s lågpunktskartering ses att flera områden i närheten av Skälby riskerar att översvämmas. Hit räknas flera cykelunderfarter under Järnbrucksgatan samt bilunderfarter längs E18 och där Söderleden går under järnvägen. I närheten av flera vägar finns även vattendrag i låglänta områden.



**Figur 49.** Utifrån SMHI:s lågpunktskartering ses att flera områden i närheten av Råby riskerar att översvämmas. De vägunderfarter som är utmarkerade är där Råbyleden går under Narvavägen samt där Bålbyvägen går under E18. Det finns även en risk att cykelunderfarter under Narvavägen samt under Råbyleden kommer översvämmas. Delar av Lövhagsgatan, Vallbyleden samt vid infarten till Wenströmska gymnasiet är lågt liggande områden.

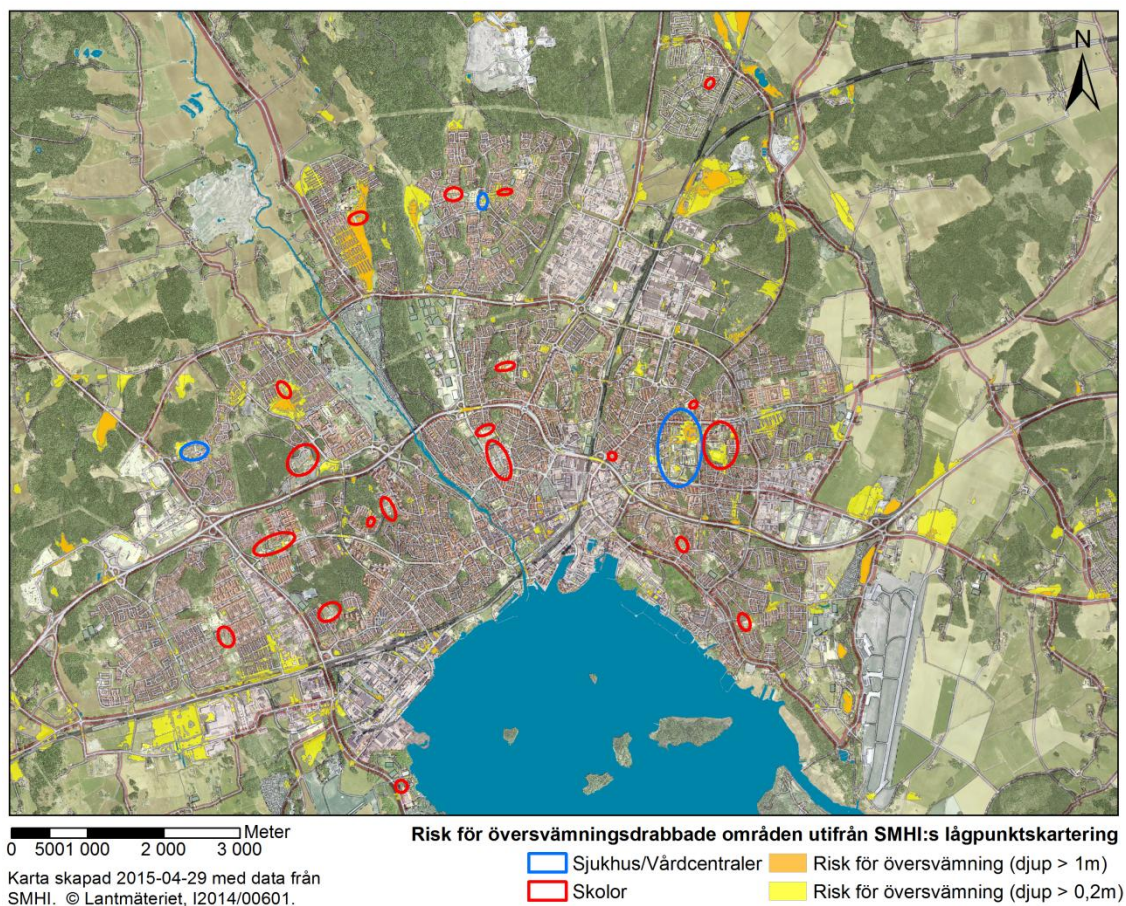




**Figur 50.** Här ses att Talltorpsmotet och cykelunderfarter kring Berghamra riskerar att översvämmas, med hänsyn tagen till SMHI:s lågpunktskartering. Ett vattendrag ligger i ett lågt område längs Väderleksgatan, vilket riskerar att översvämmas på flera platser.

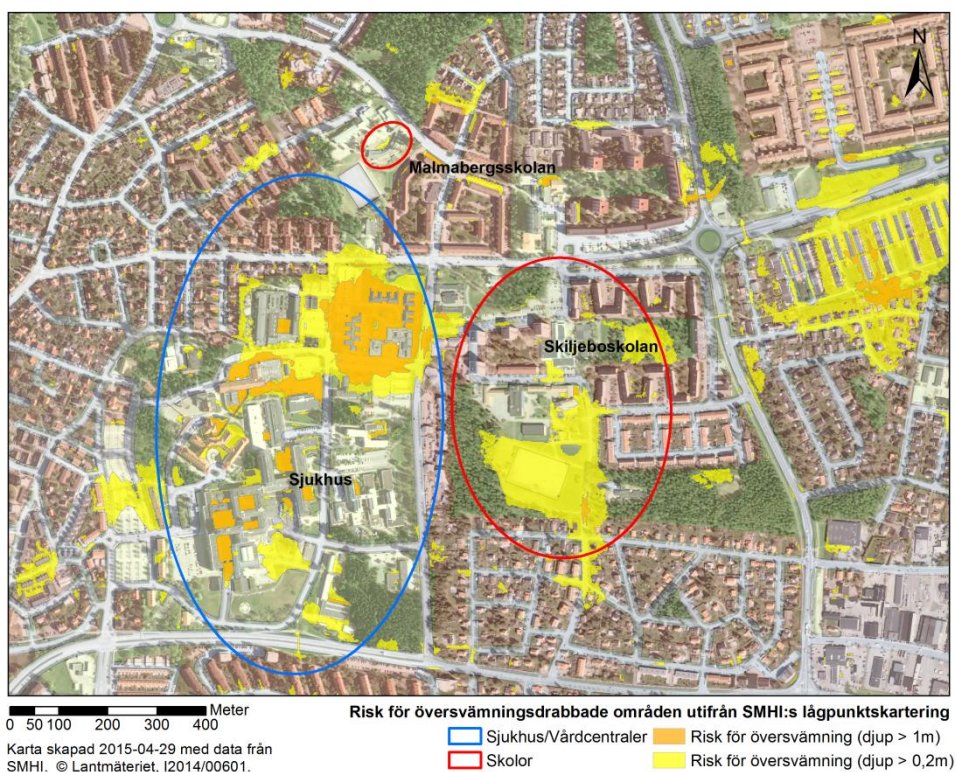


#### BILAGA 4. SKOLOR, SJUKHUS OCH VÅRDCENTRALER I LÅGPUNKTSOMRÅDEN

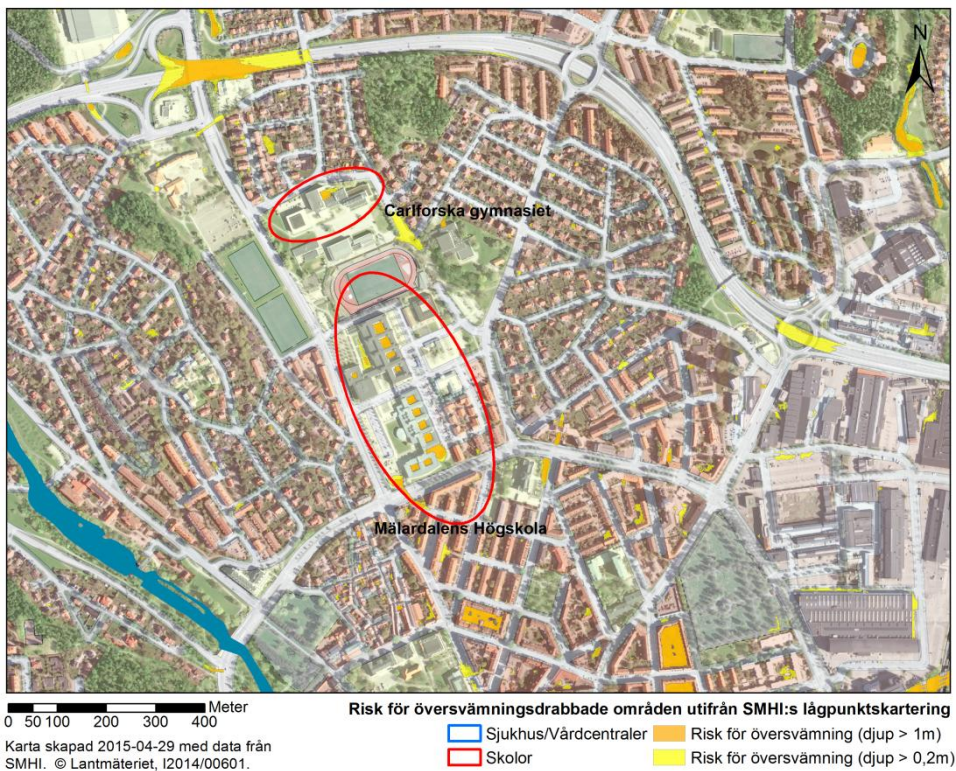


**Figur 51.** Sjukhus, vårdcentraler och skolor i Västerås Stad som riskerar att drabbas av översvämnningar från skyfall med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering.





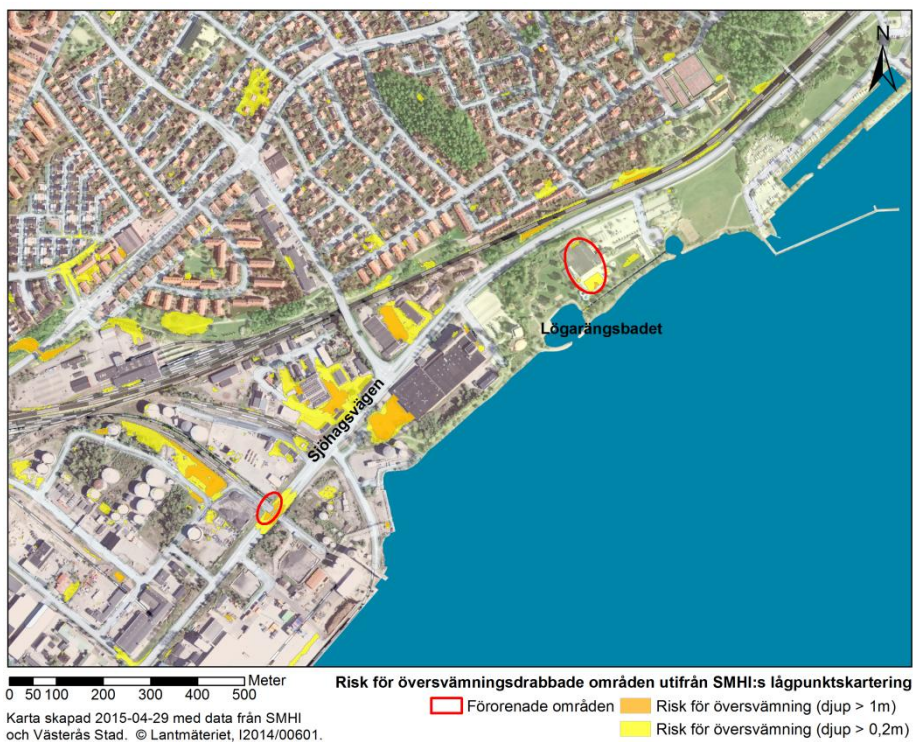
**Figur 52.** Sjukhuset och Skiljeboskolan ser ut att kunna drabbas i stor utsträckning vid skyfall enligt SMHI:s lågpunktskartering. Vid Malmabergsskolan finns mindre områden som också riskerar att översvämmas.



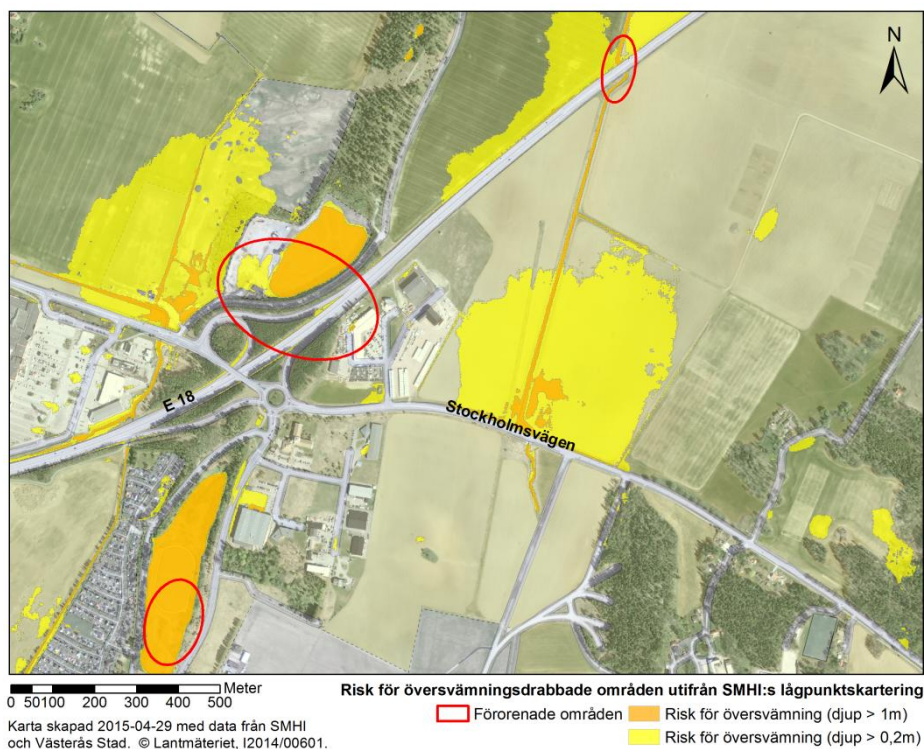
**Figur 53.** Här visar SMHI:s lågpunktskartering att risken finns för vattensamlingar på innergårdar vid Mälardalens Högskola och Carlforsska gymnasiet.



## BILAGA 5. FÖRORENADE OMRÅDEN I LÅGPUNKTSOMRÅDEN

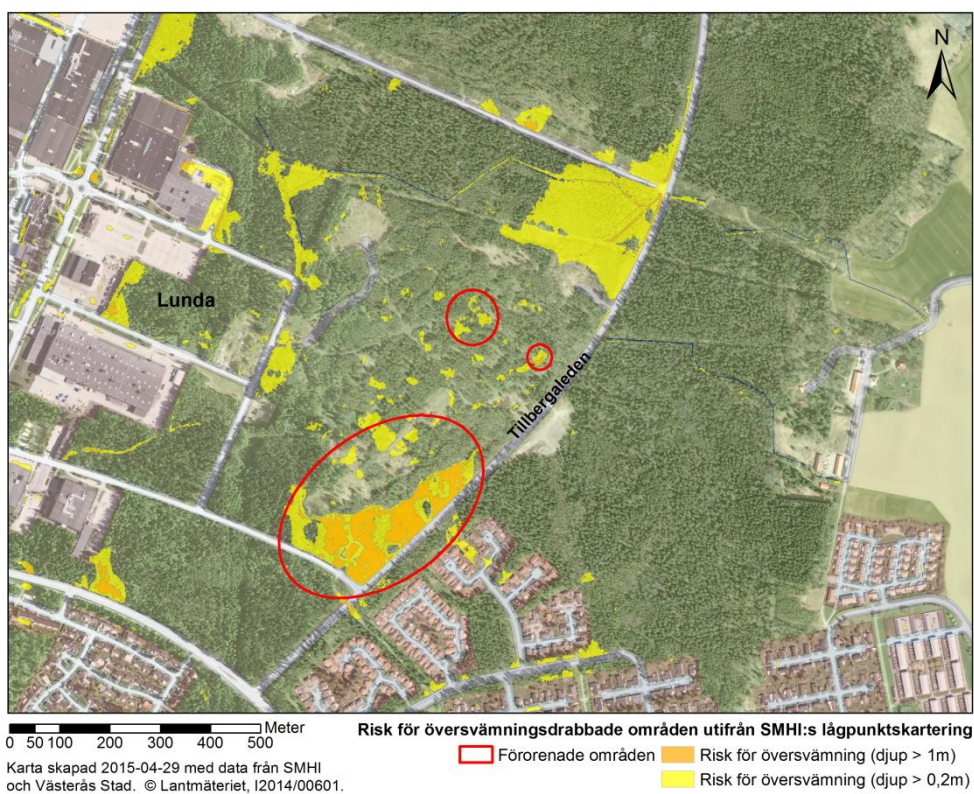


**Figur 54.** Längs Mälarstranden har det tidigare varit en avfallsdeponi där bland annat Lögåringsbadet ligger idag. Längre söderut riskerar vägunderfarten där Sjöhagsvägen går under järnvägsspåret att översvämmas från skyfall med utgångspunkt från SMHI:s lågpunktskartering. Här finns även ett mindre förorenat område.

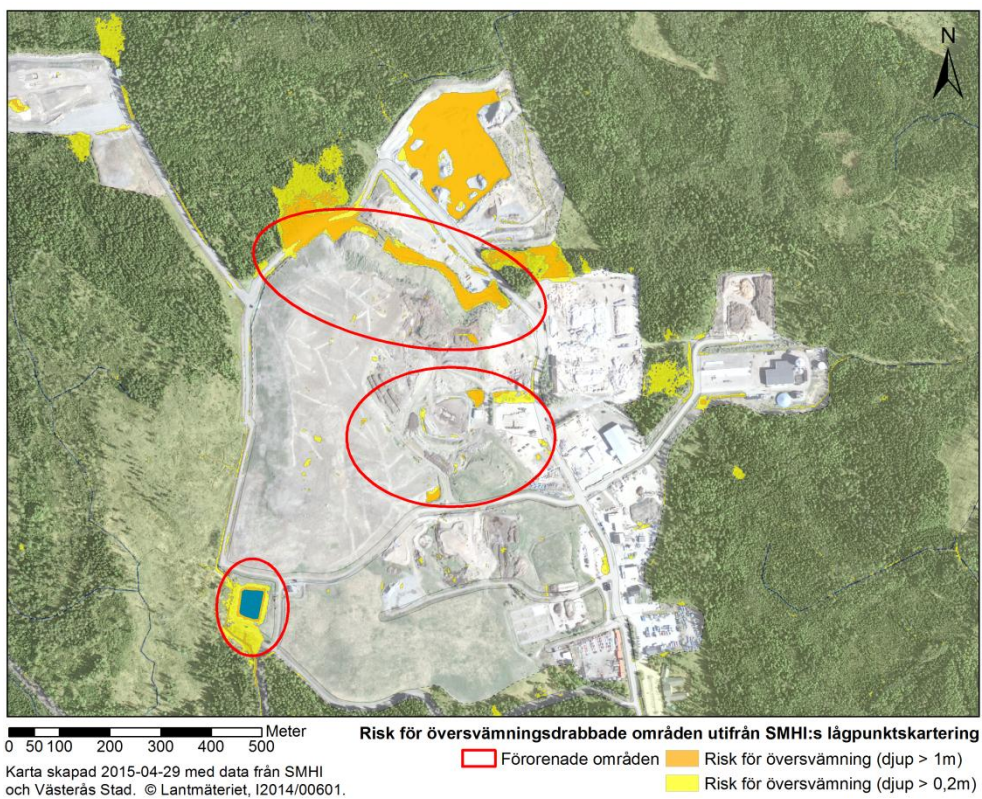


**Figur 55.** Förorenade områden från gamla avfallsdeponier vid korsningen E18 – Stockholmsvägen som på vissa platser sammanfaller med de karterade lågpunktsområdena enligt SMHI.





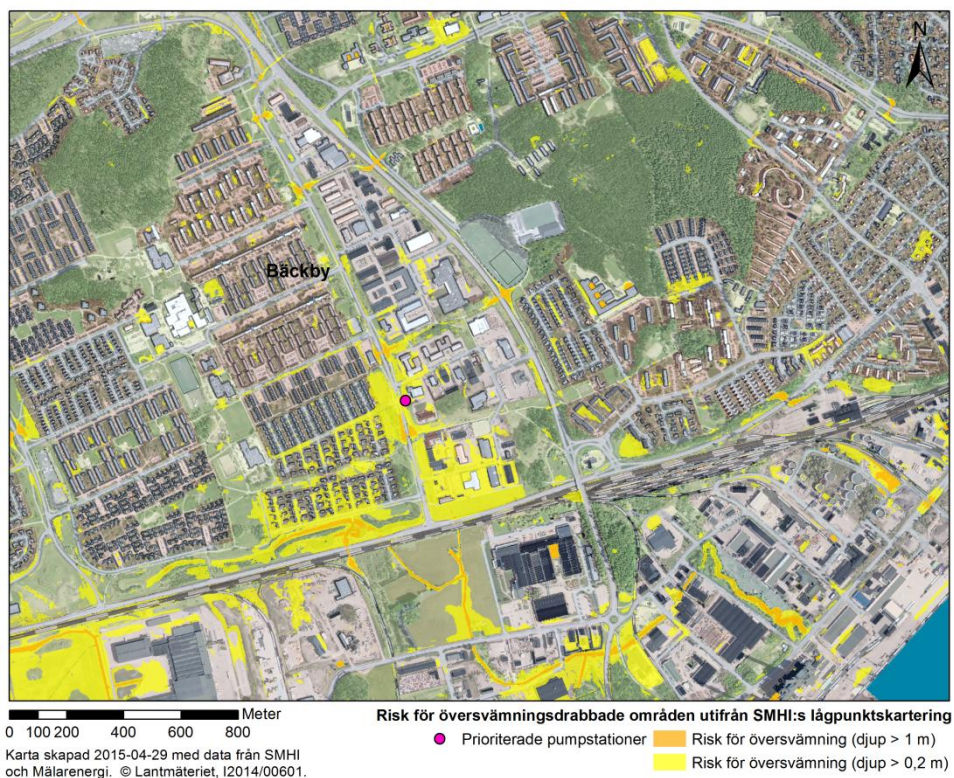
**Figur 56.** Förorenade områden vid Lunda där en gammal deponi sammanfaller på vissa platser med SMHI:s lågpunktskartering.



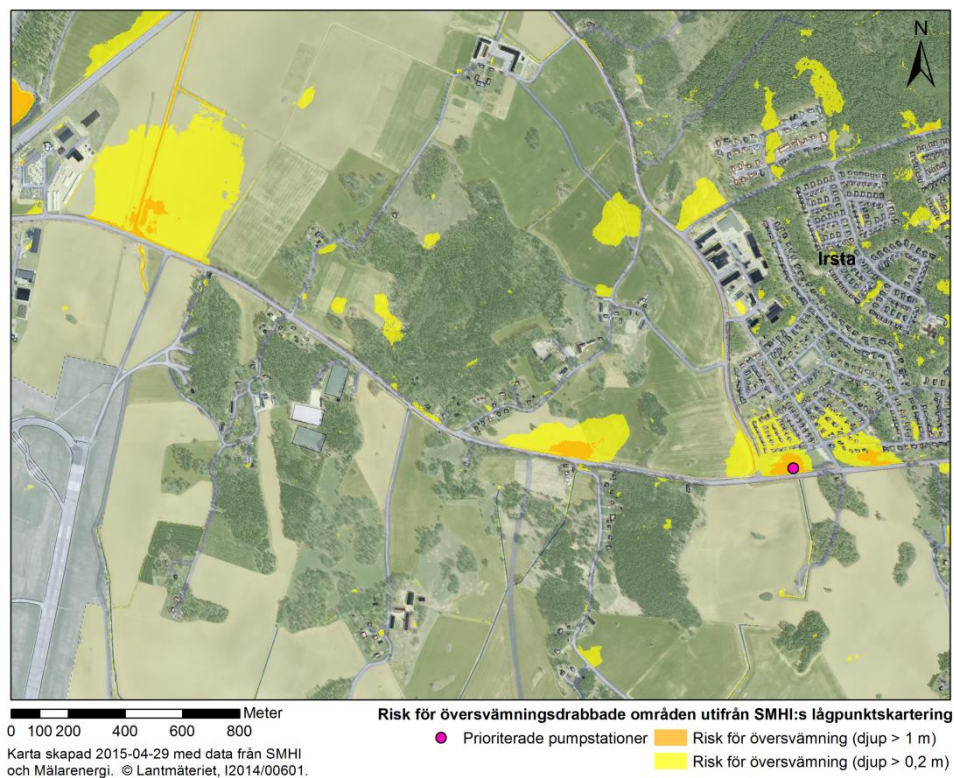
**Figur 57.** Förorenade områden vid Grytas avfallsdeponi som på vissa platser sammanfaller med de karterade lågpunktsområdena enligt SMHI.



## BILAGA 6. NÄTSTATIONER OCH PRIORITERADE PUMPSTATIONER I LÅGPUNKTSOMRÅDEN

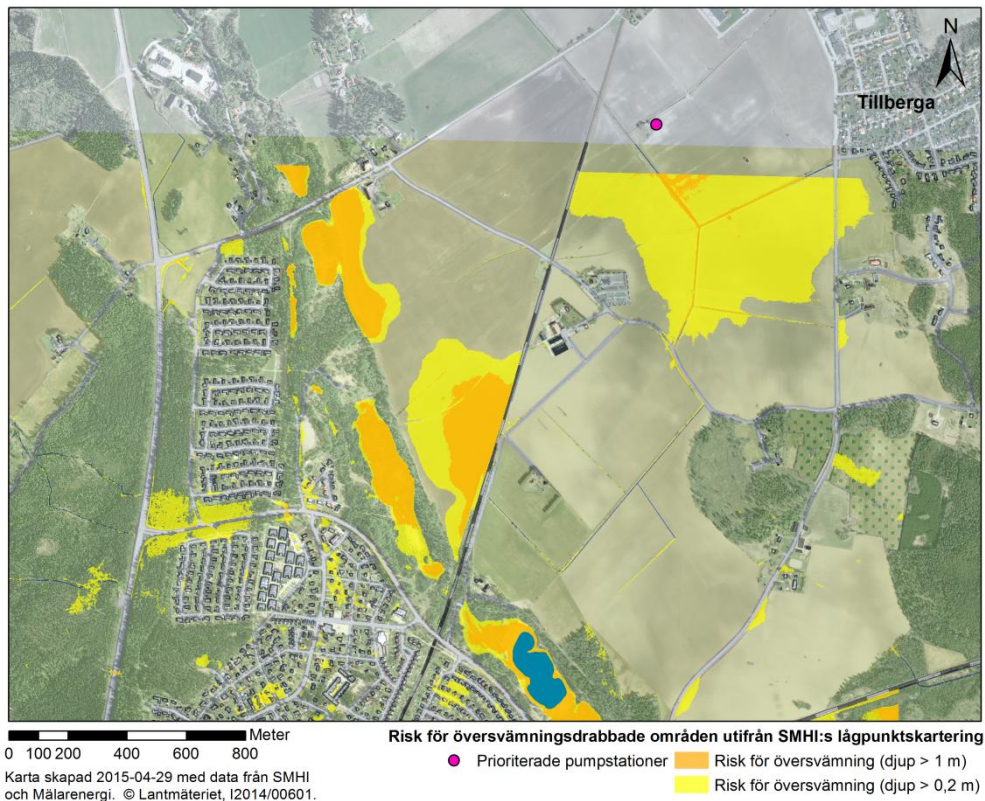


**Figur 58.** Prioriterad pumpstation i Bäckby i ett område som riskerar att översvämmas enligt SMHI:s lågpunktskartering.

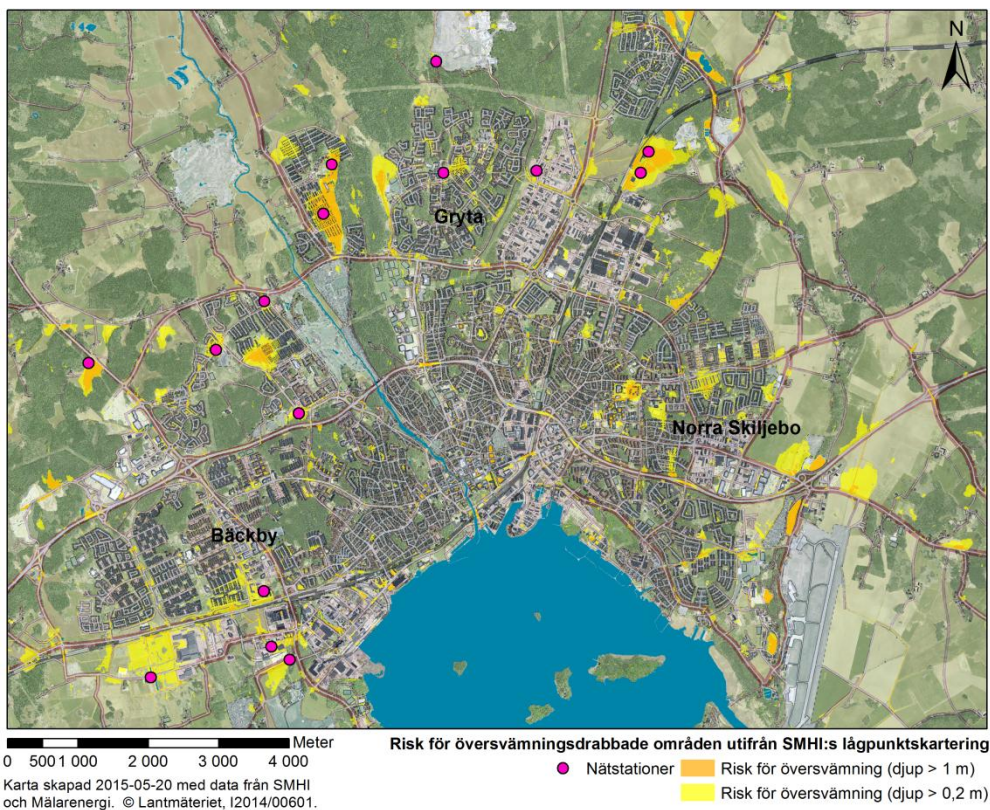


**Figur 59.** Prioriterad pumpstation i Irsta i ett område som riskerar att översvämmas med minst 1 m enligt SMHI:s lågpunktskartering.





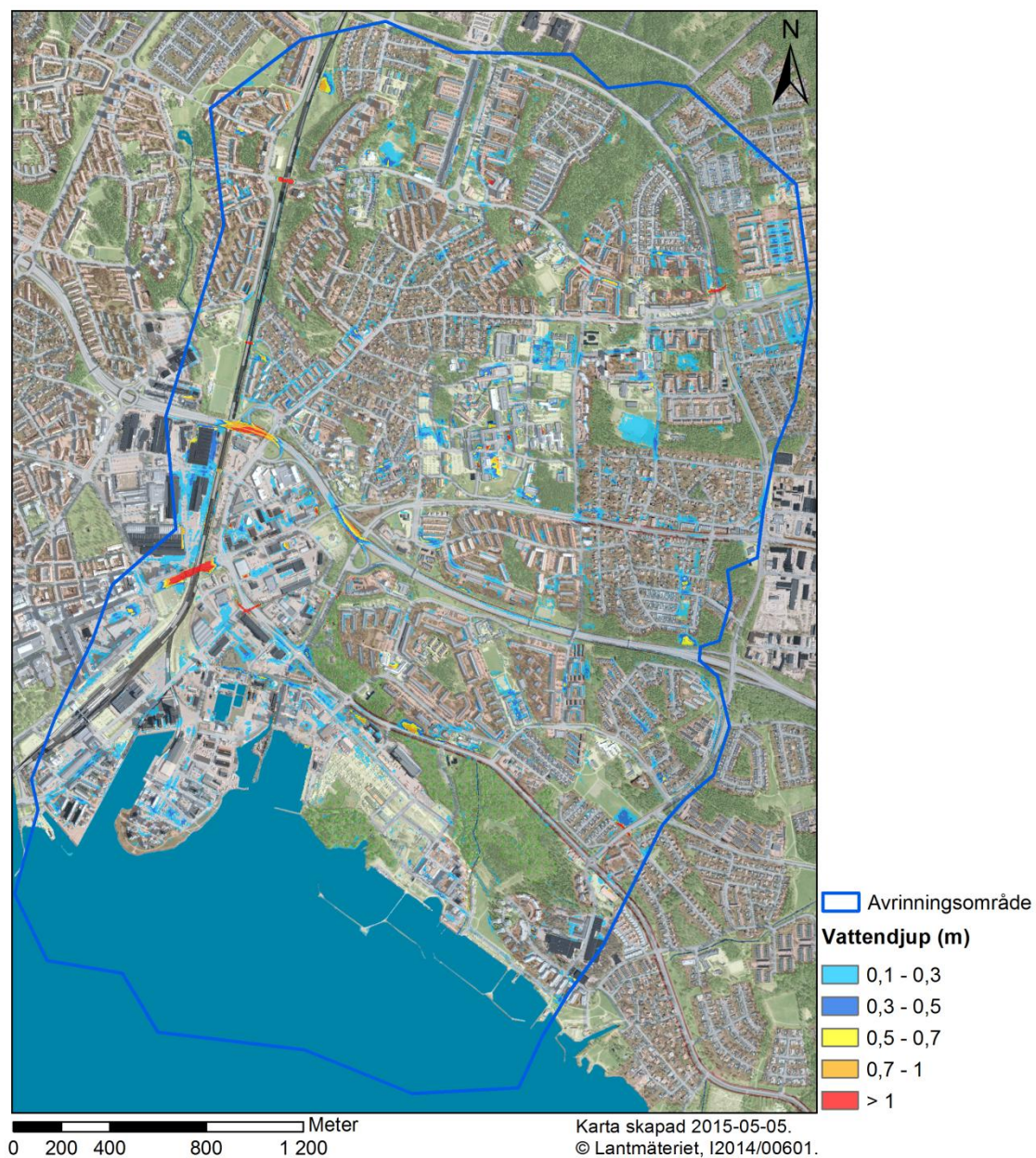
**Figur 60.** Prioriterad pumpstation utanför Tillberga med stort lågpunktsområde söderut. SMHI:s kartering tar dock slut utanför pumpstationen.



**Figur 61.** De nätstationer i Västerås stad som befinner sig i av SMHI karterade lågpunktsområden med en area > 10 000 m<sup>2</sup>.

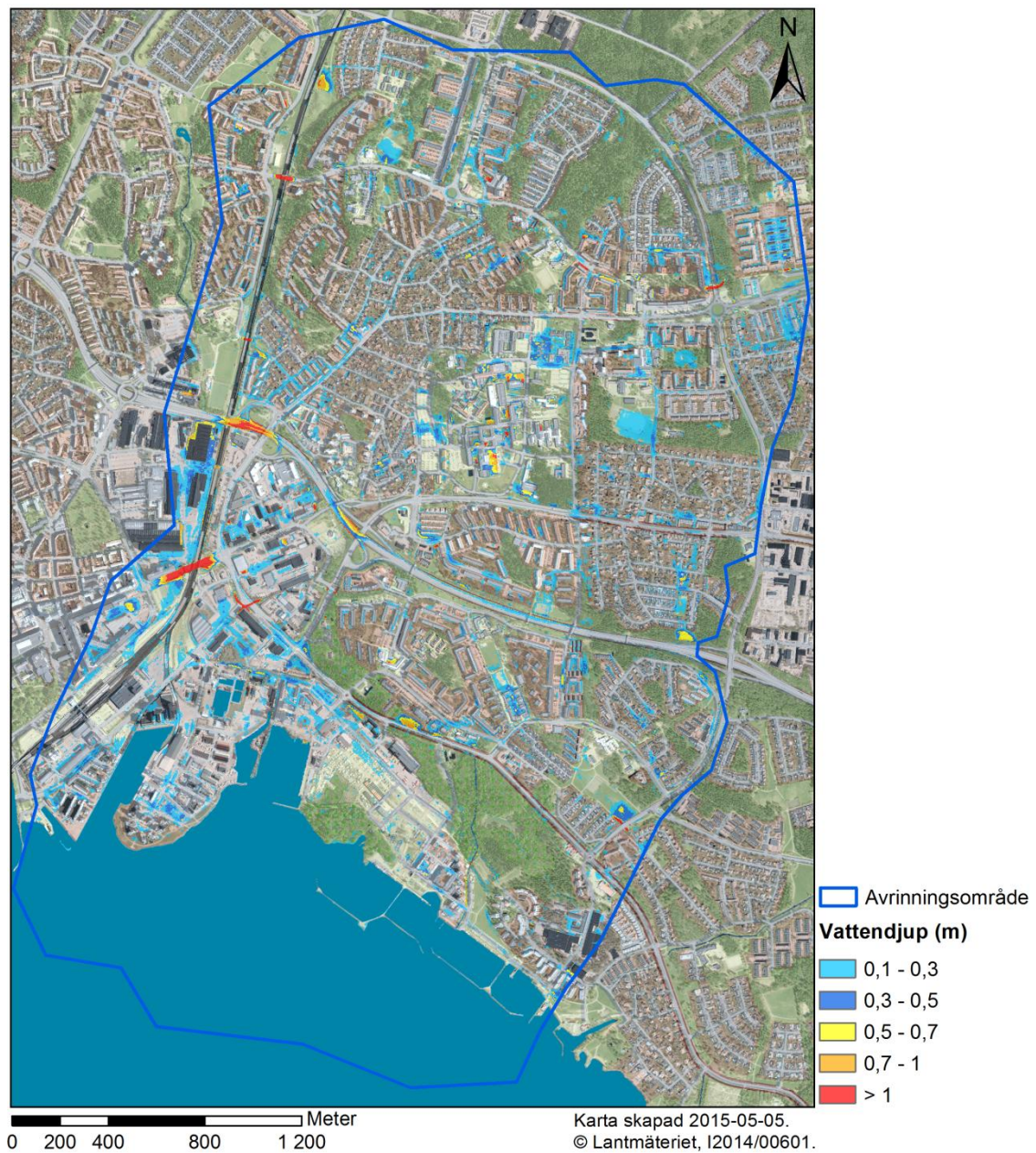


## BILAGA 7. ÖVERSVÄMNING VID OLIKA SIMULERADE REGN I MIKE 21



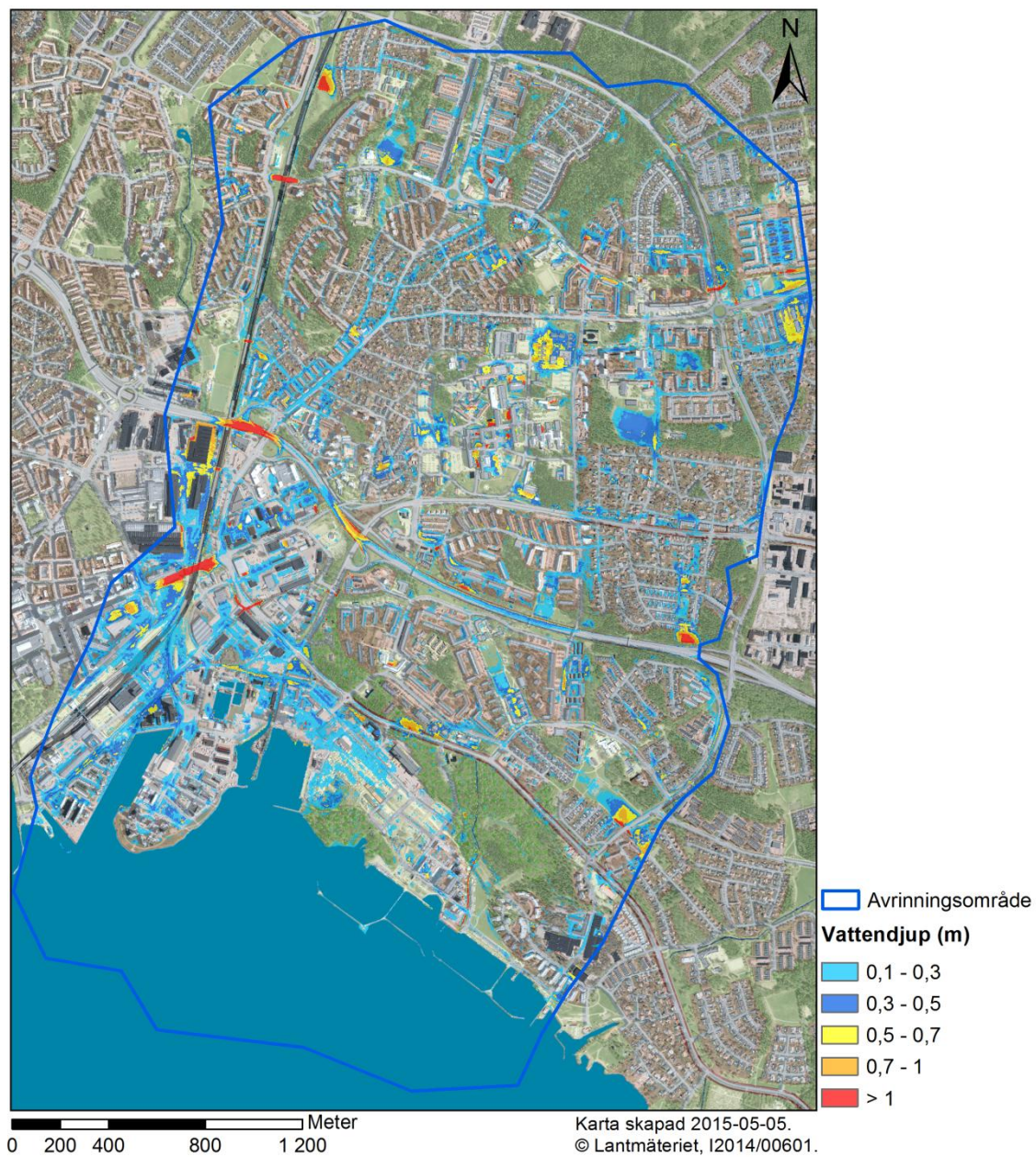
**Figur 62.** Resultat från simulering med regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 1 timme. Kartan visar skyfallets vattendjup i hela avrinningsområdet.





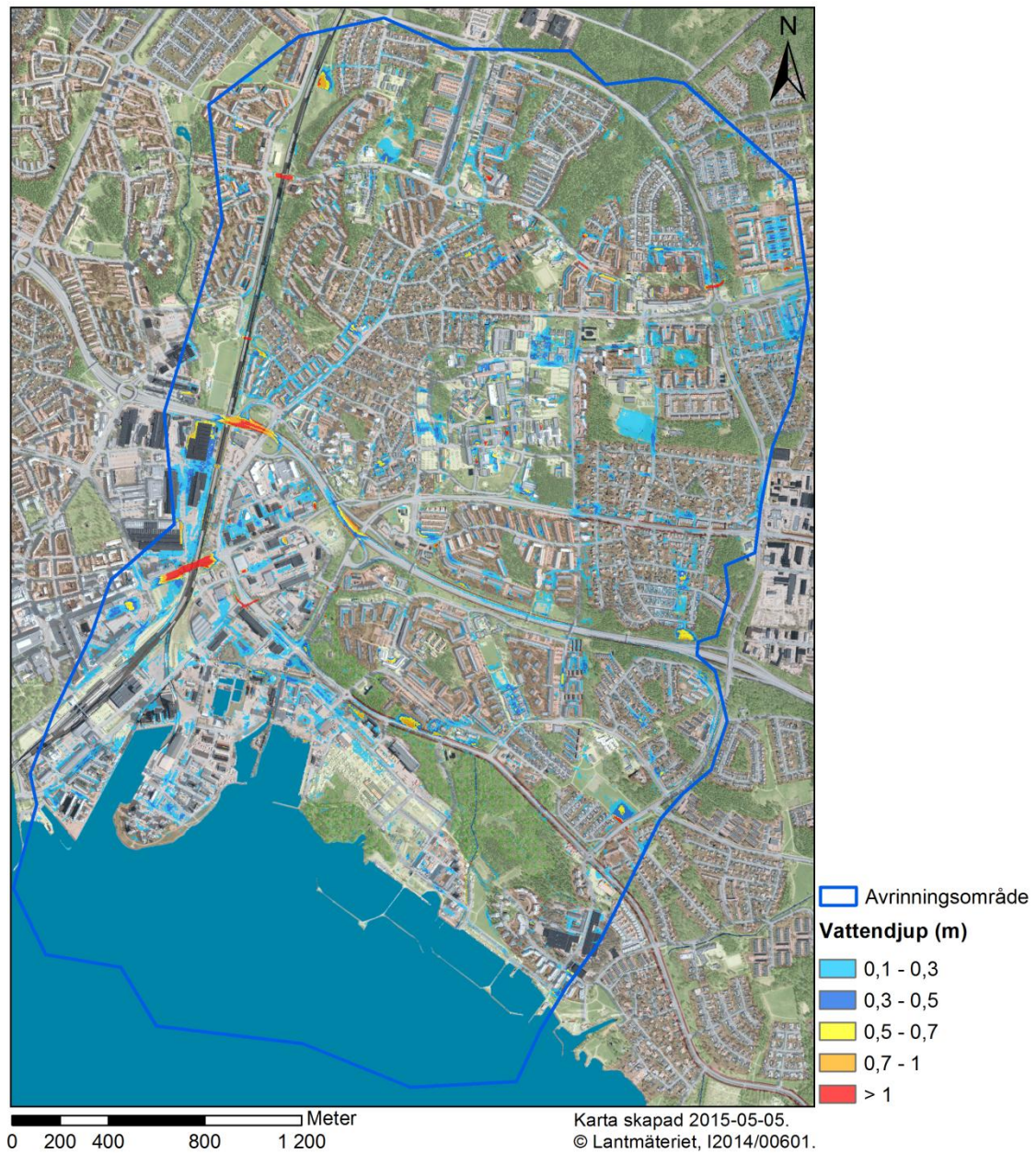
**Figur 63.** Resultat från simulering med regn med återkomsttiden 200 år och varaktigheten 30 minuter. Kartan visar skyfallets vattendjup i hela avrinningsområdet.





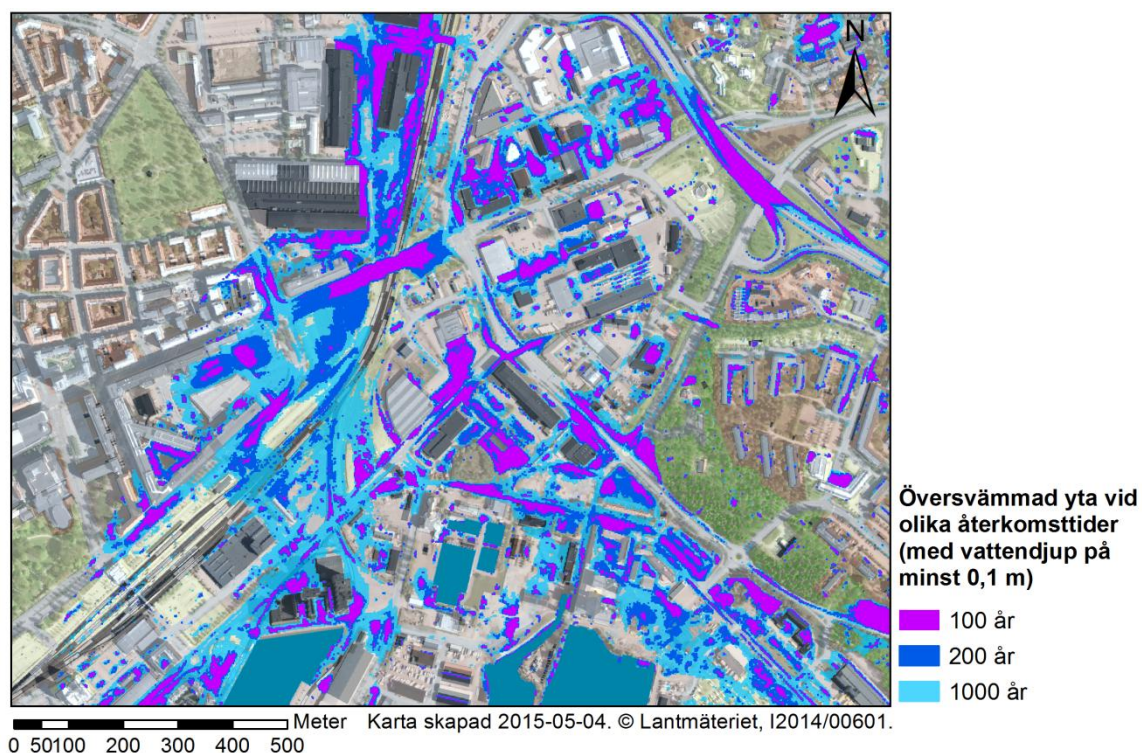
**Figur 64.** Resultat från simulering med regn med återkomsttiden 1000 år och varaktigheten 30 minuter. Kartan visar skyfallets vattendjup i hela avrinningsområdet.



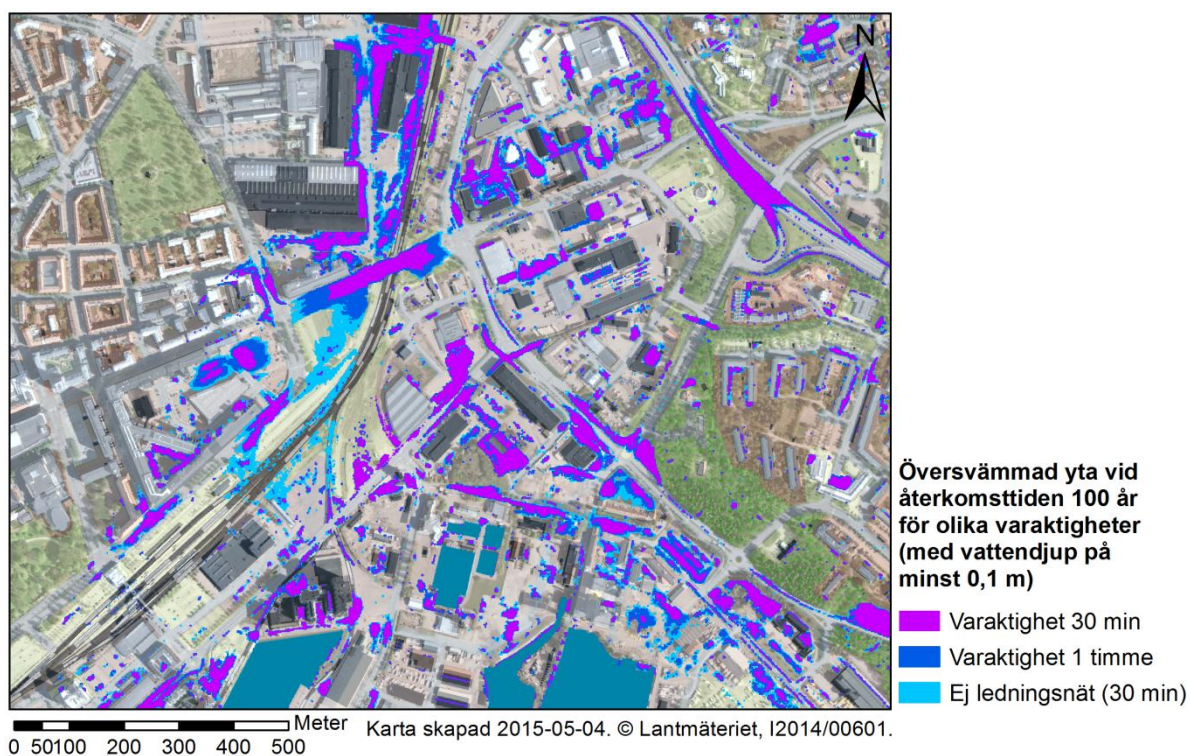


**Figur 65.** Resultat från simulering med regn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter och där inget avdrag för ledningsnätets kapacitet har gjorts. Kartan visar skyfallets vattendjup i hela avrinningsområdet.



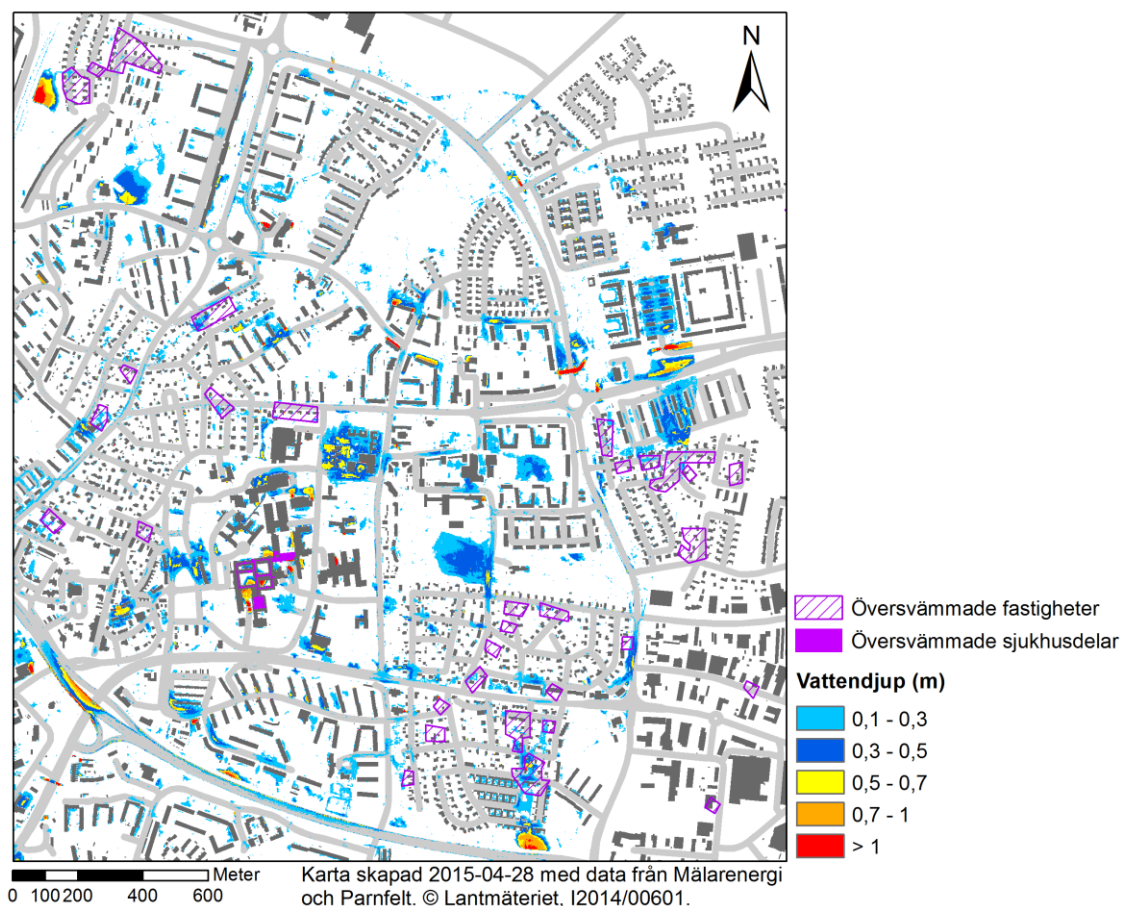


**Figur 66.** Översvämmad yta (minst 0,1 m) i de centrala delarna av Västerås hamn vid regn med återkomsttiden 100, 200 respektive 1000 år med 30 minuters varaktighet.



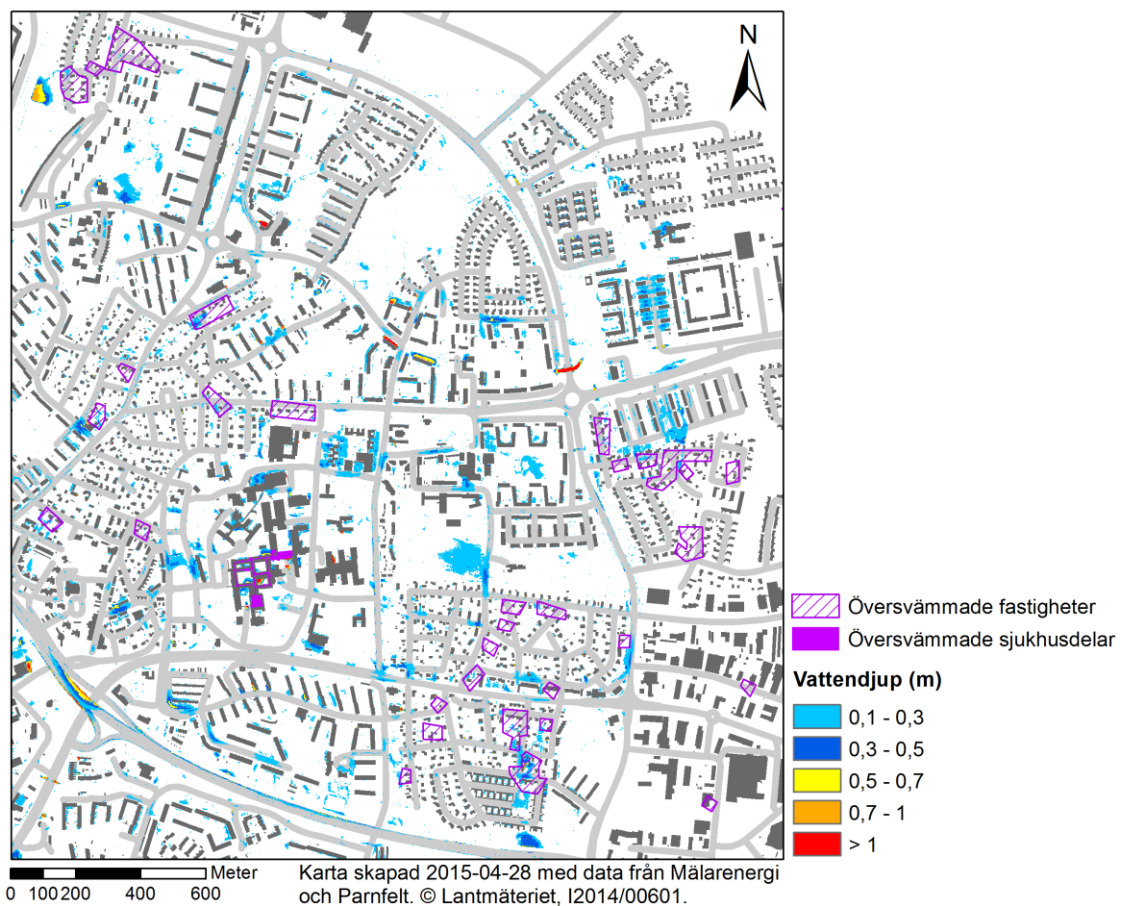
**Figur 67.** Översvämmad yta (minst 0,1 m) i det centrala hamnområdet vid regn med återkomsttiden 100 år som med 30 respektive 60 minuters varaktighet, samt vid ett regn med återkomsttiden 100 år och 30 minuters varaktighet men där inget avdrag för ledningsnätets kapacitet har gjorts.

**BILAGA 8. ÖVERSVÄMNINGSDJUP VID JÄMFÖRELSE MED SKYFALLET  
8 JULI 2012**



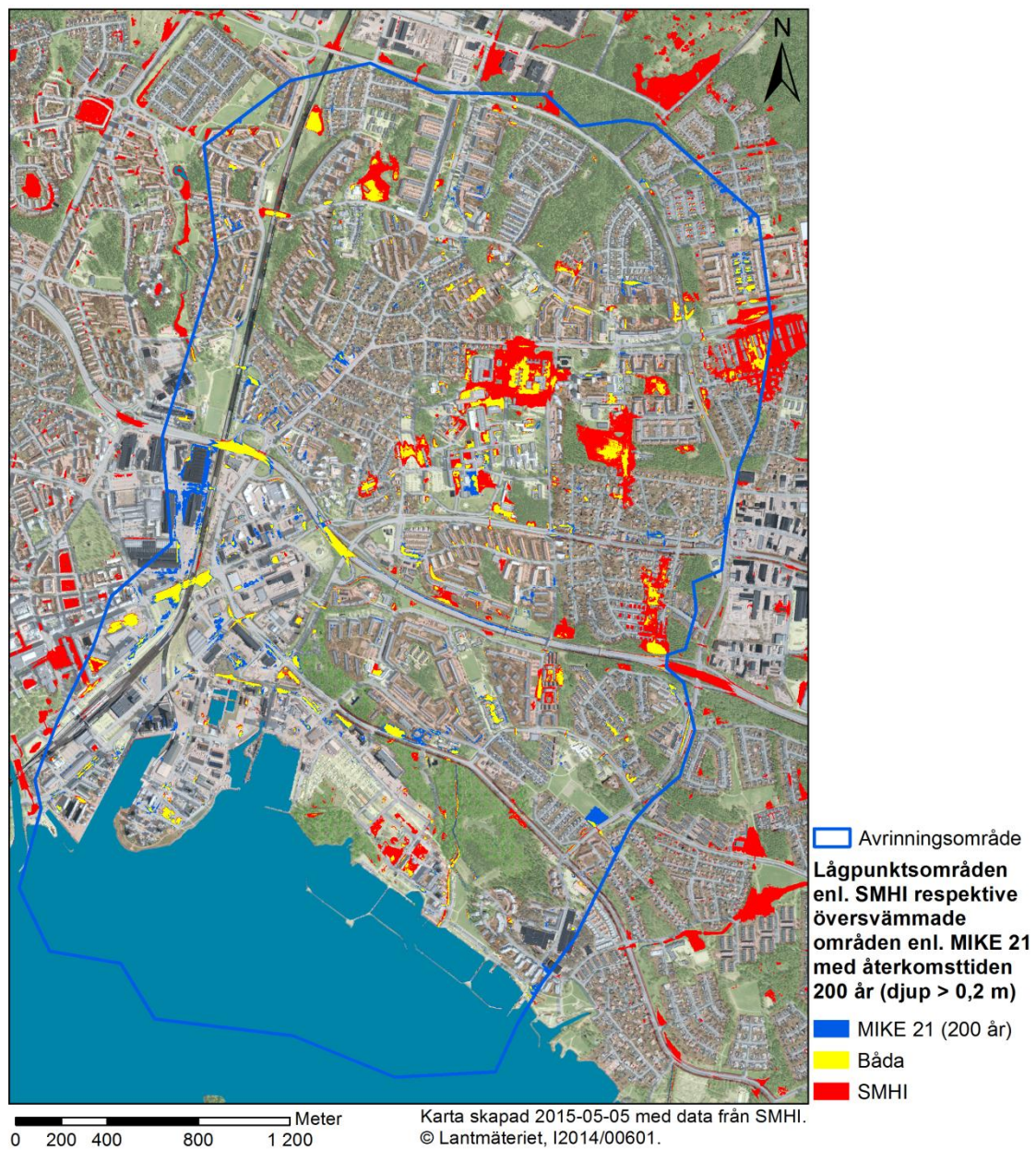
**Figur 68.** Simulerat vattendjup (m) med inofficiell uppgift på 100 mm nederbörd under 2 timmar (kontroll 1). De fastigheter och delar av sjukhusbyggnader som översvämmades finns också utmarkerade på kartan.





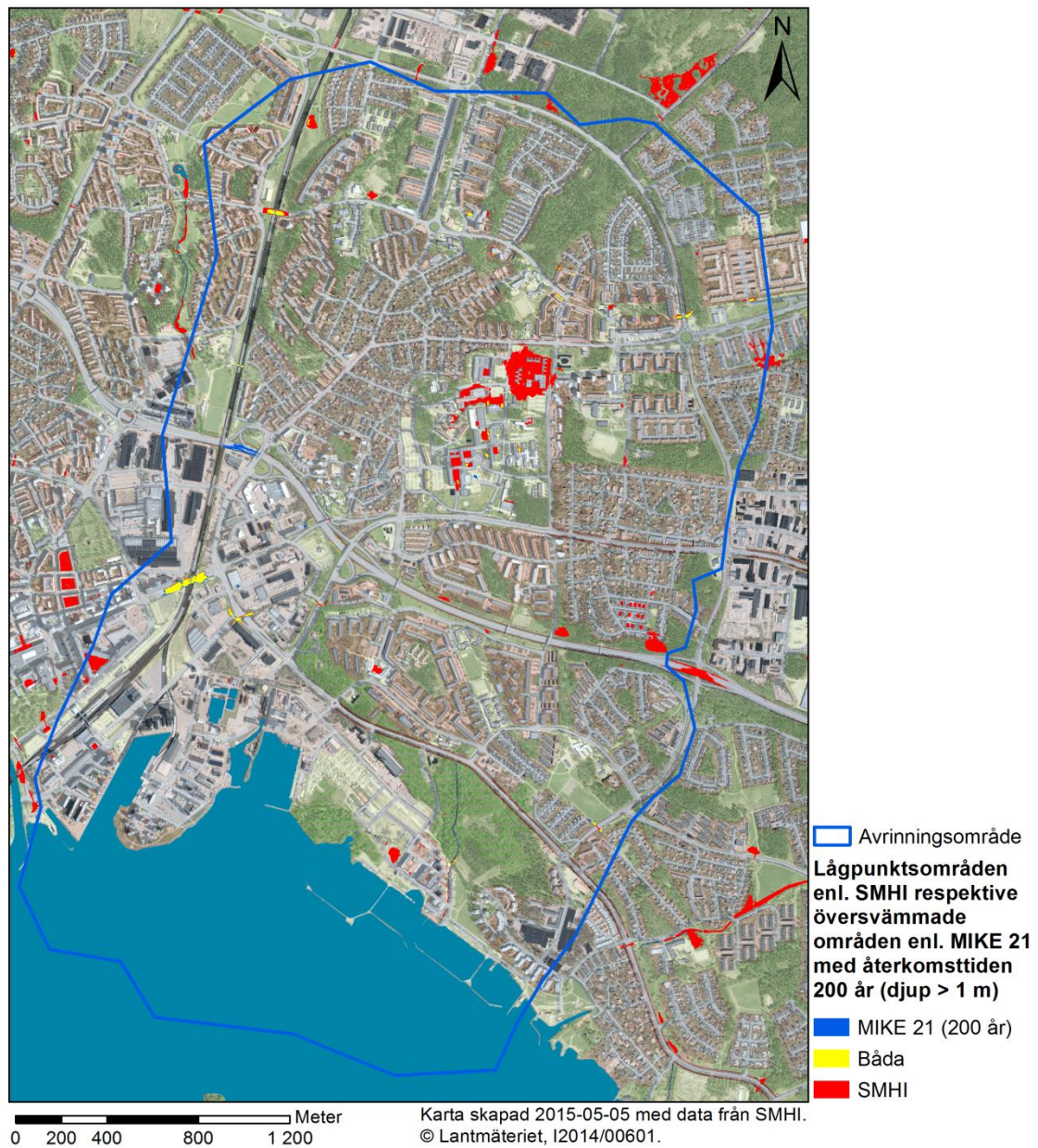
**Figur 69.** Simulerat vattendjup (m) med regn uppmätt av Mälarenergi (kontroll 2). De fastigheter och delar av sjukhusbyggnader som översvämmades finns också utmarkerade på kartan.

## BILAGA 9. SMHI:S LÅGPUNKTSKARTERING JÄMFÖRT MED OLIKA STORA SIMULERADE REGN I MIKE 21



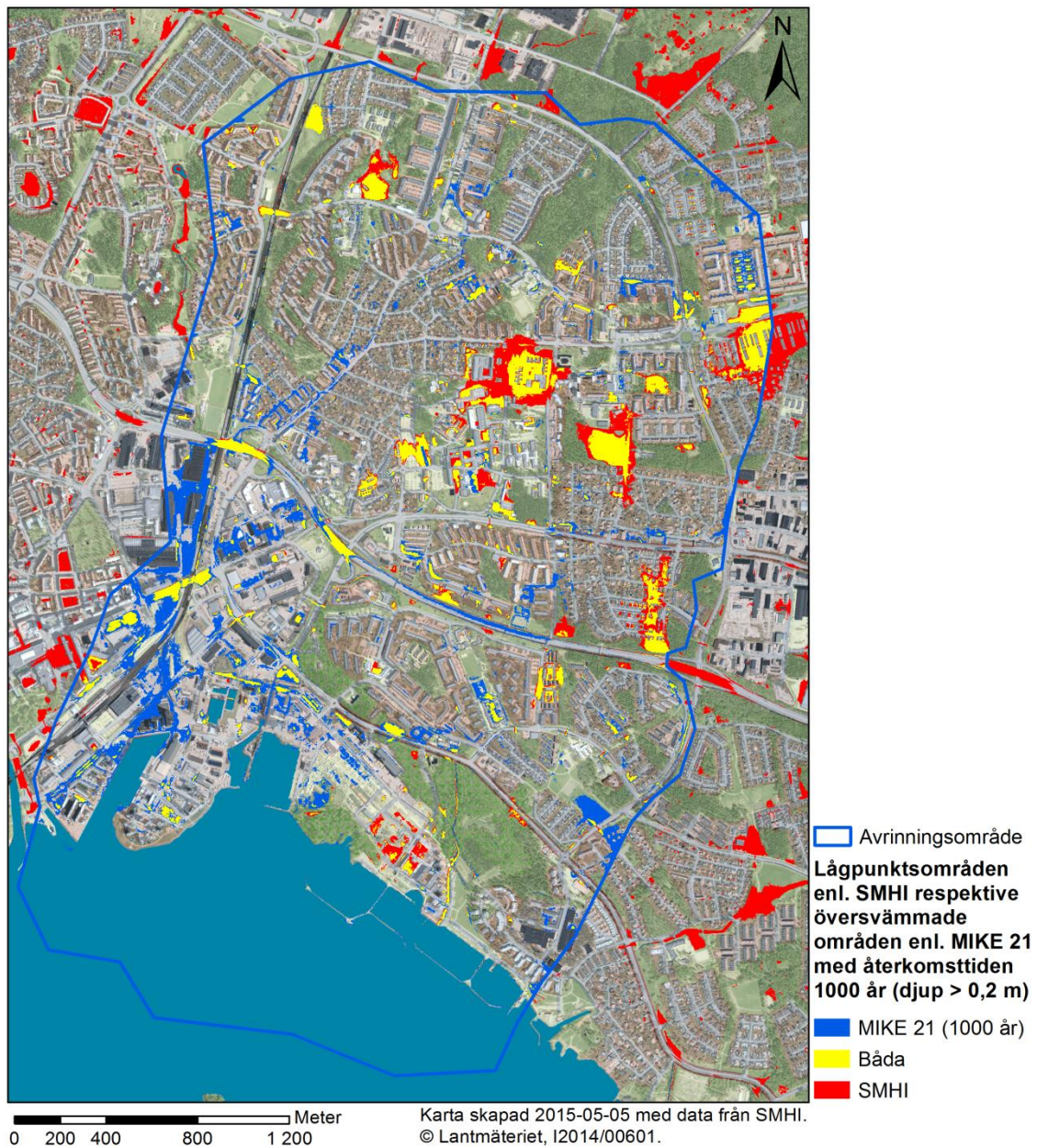
**Figur 70.** Jämförelse mellan SMHI:s karterade lågpunktsområden och de simulerade ytorna som översvämmas med ett djup på minst 0,2 m vid ett regn med återkomsttiden 200 år. De ytor som både ligger i lågpunktsområden och som kommer översvämmas enligt simuleringarna från MIKE 21 visas också i figuren.





**Figur 71.** Jämförelse mellan SMHI:s karterade lågpunktsområden och de simulerade ytorna som översvämmas med ett djup på minst 1 m vid ett regn med återkomsttiden 200 år. De ytor som både ligger i lågpunktsområden och som kommer översvämmas enligt simuleringarna från MIKE 21 visas också i figuren.





**Figur 72.** Jämförelse mellan SMHI:s karterade lågpunktsområden och de simulerade ytorna som översvämmas med ett djup på minst 0,2 m vid ett regn med återkomsttiden 1000 år. De ytor som både ligger i lågpunktsområden och som kommer översvämmas enligt simuleringarna från MIKE 21 visas också i figuren.





**Figur 73.** Jämförelse mellan SMHI:s karterade lågpunktsområden och de simulerade ytorna som översvämmas med ett djup på minst 1 m vid ett regn med återkomsttiden 1000 år. De ytor som både ligger i lågpunktsområden och som kommer översvämmas enligt simuleringarna från MIKE 21 visas också i figuren.