

Skyfallskartering Uppsala tätort



Uppsala Vatten och Avfall AB

Rapport

December 2022

Denna rapport har tagits fram inom DHI:s ledningssystem
för kvalitet certifierat enligt ISO 9001 (kvalitetsledning) av Bureau Veritas



Skyfallskartering Uppsala tätort

Framtagen för Uppsala Vatten och Avfall AB
Kontaktperson Irina Persson

Projektledare	Erik Mårtensson
Kvalitetsansvarig	Lars-Göran Gustafsson
Handläggare	Kajsa Lundgren, Alexander Bergman, Christofer Karlsson

Uppdragsnummer	12804311
Godkänd datum	2021-10-14 (rev 2022-12-15)
Version	Version 2.1
Klassificering	Öppen

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning	2
1.1	Övergripande arbetsgång	2
1.2	Kommunens ansvar för hantering av översvämningsrisker	3
1.3	Läshänvisning	4
2	Metodik	5
2.1	Markavrinningsmodell	5
2.2	Dagvattenmodell	8
2.3	Dynamisk koppling av modeller	9
2.4	Fyrisån	9
2.5	Regnscenarier	10
2.5.1	Framtida 100-årsregn	10
2.5.2	Uppsalaregnet 2018.....	12
3	Verifiering av modell – skyfallet 2018	17
3.1	Observerat jämfört med beräknad översvämningsutbredning.....	18
4	Resultat – framtida 100-årsregn	21
4.1	Kartläggning av skyfall	21
4.2	Tolkning av resultat.....	23
4.2.1	Höjddata.....	24
4.2.2	Vägtrummor	24
5	Fortsatt arbete med skyfallsplan.....	25
6	Leverans	27
7	Referenser	28

FIGURER

Figur 1-1.	Föreslagen arbetsgång för att uppfylla målet om en skyfallstålig stad (MSB, 2017).....	2
Figur 2-1.	Illustration av kopplad markavrinnings- och ledningsnätsmodell.	5
Figur 2-2.	Utbredning för samtliga modellområden.	6
Figur 2-3	Förekommande jordarter i eller nära markytan.....	8
Figur 2-4.	Diagrammet visar sambandet mellan ett regns volym, varaktighet och återkomsttid. Den totala regnvolymen ökar avtagande med återkomsttiden och varaktigheten. Därmed kan ett regn med lång varaktighet, men kort återkomsttid ge lika stor regnvolym som ett regn med längre återkomsttid men kortare varaktighet (Mårtensson och Gustafsson, 2017).....	11
Figur 2-5.	Principiell illustration av hur studerat regn fördelas över hårdgjorda ytor i markavrinningsmodell och dagvattenmodell.....	12
Figur 2-6	Vänstra bilden: Nederbördsräknare i Uppsala tätort den 29 juli 2018. Högra bilden: registrerad totalvolym för regnet vid de olika regnstationerna.	14
Figur 2-7	Lokala återkomsttider för regnet baserade på högsta regnintensitet registrerat av nederbördsräknare.....	15
Figur 2-8	Nederbördsvolym (mm) som funktion av varaktighet (minuter) och återkomsttid (år) för inträffade extrema regnhändelser i Sverige i relation till regnstatistik.	16

Figur 3-1.	Observationspunkter i samband med regnet 2018 vilka har använts för verifiering av modellresultat.....	17
Figur 3-2.	Observation från Siktargatan och beräknad maximal översvämningsutbredning och vattendjup.	19
Figur 3-3.	Observation från Kungsängsverket och beräknad maximal översvämningsutbredning och vattendjup.	20
Figur 4-1.	Resultatexempel – beräknade maximala vattendjup i samband med ett 100-årsregn med klimatfaktor 1,3.....	22
Figur 4-2.	Resultatexempel – beräknade maximala vattendjup i samband med ett 100-årsregn med klimatfaktor 1,3.....	23
Figur 5-1.	Föreslagen arbetsgång för att uppnå en skyfallstål stad.	25

TABELLER

Tabell 1-1.	Lägsta grundläggningsnivå eller lägsta dimensionerande regn som ny bebyggelse generellt ska anpassas för enligt anvisningar från Länsstyrelsen och Boverket.	4
Tabell 2-1.	Ansatta infiltrations- och läckagehastigheter (mm/h) för olika jordarter.	7
Tabell 6-1.	Beskrivning av ingående rasterlager vid leverans.	27

BILAGOR

BILAGA A – Uppsalaregnet 2018

Jämförelse av modellresultat med observationer

1 Inledning

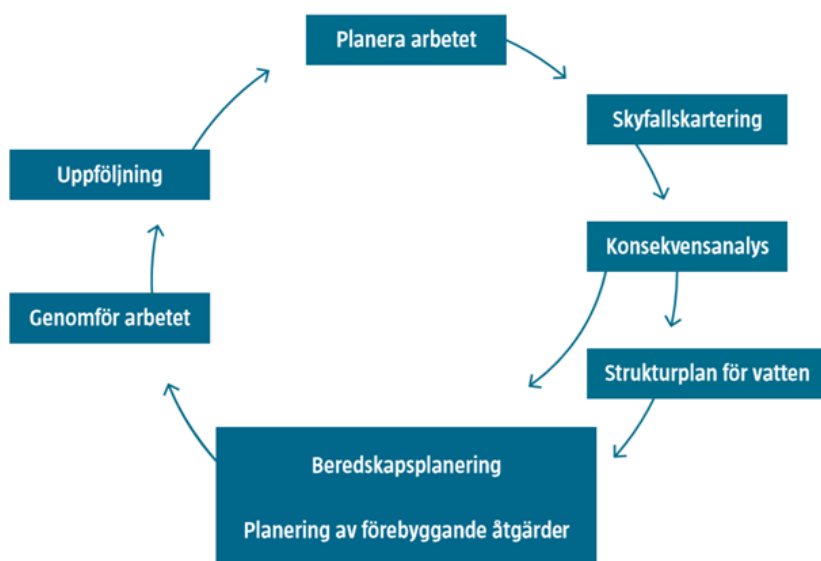
Uppsala kommun har beslutat att ta fram en skyfallsplan. Bakgrunden till skyfallsplanens framtagande är i huvudsak:

- Den pågående klimatförändringen kommer att bidra till ett förändrat nederbördsmonster. Risken för kraftig nederbörd förväntas att öka i Uppsala län i framtiden, enligt SMHI. Detta, i kombination med förtätning och ökad hårdgöring av mark gör kommunen mer sårbar vid skyfall.
- Från och med 1 augusti 2018 trädde en ändring av plan och bygglagen, PBL, i kraft. Ändringen innebär ett krav på att kommunerna i översiktsplanen att ge sin syn på risken för skador på den byggda miljön till följd av översvämning, ras, skred och erosion som är klimatrelaterade samt på hur sådana risker kan minska eller upphöra.
- Fyrisån är utpekad som ett extra sårbart vattendrag enligt Översvämningsdirektivet. Därmed finns det krav på kommunen att ta fram en skyfallskartering för tätorten.
- Den 29 juli 2018 drabbades Uppsala av ett skyfall som för vissa områden motsvarade ett 100-årsregn eller ännu mer. Skadorna från händelsen var omfattande.
- Befintlig lågpunktskartering har otillräcklig detaljeringsgrad för kartläggning av riskområden och fortsatt arbete med konsekvensanalyser och åtgärder.

DHI har fått i uppdrag att etablera en skyfallsplan för Uppsala kommun. Ett första steg i planen är att genomföra en skyfallskartering för att kartlägga riskområden för översvämning i samband med extrema regn. I föreliggande rapport redovisas tillämpad metodik samt resultat från karteringen. I samband med arbetet studerades även regnet 2018 och modellresultat har verifierats mot observationer i samband med regnet.

1.1 Övergripande arbetsgång

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) har tagit fram en vägledning som syftar till att stödja kommunerna i deras arbete mot den skyfallståliga staden. I vägledningen ges rekommendationer om lämplig arbetsgång i arbetet, Figur 1-1. Nedan beskrivs kortfattat ingående moment där de inledande momentet skyfallskartering ingår i föreliggande utredning.



Figur 1-1. Föreslagen arbetsgång för att uppfylla målet om en skyfallstålig stad (MSB, 2017).

Skyfallskartering

Resultat från en skyfallskartering visar översvämningsutbredning, vattendjup samt flöden och flödesvägar för studerat regn. En skyfallskartering kan göras med olika detaljeringsgrad.

Konsekvensanalys

Resultaten från skyfallskarteringen används för att analysera möjliga konsekvenser för exempelvis bebyggelse, samhällsviktig verksamhet, vägar och annan infrastruktur. Generellt handlar det om att kombinera beräknade översvämningsdjup med information om det som kan påverkas av vattnet. På så sätt kan utsatta områden, objekt, verksamheter och funktioner identifieras. En konsekvensanalys kan genomföras på många olika sätt och med olika detaljeringsgrad.

Strukturplan för vatten

En strukturplan för vatten avser ett geografiskt planeringsunderlag för hantering av skyfall inom ett eller flera avrinningsområden. Strukturplanen innehåller typåtgärder som syftar till att fördröja och avleda överskottsvatten, som inte kan hanteras av stadens dagvattensystem. Syftet med typåtgärderna är att hantera översvämning så att negativa samhällskonsekvenser och övriga risker identifierade i konsekvensanalysen minimeras.

Åtgärdsplan

Utifrån framtagna strukturplan analyseras hur typåtgärderna som identifierats kan förverkligas till konkreta åtgärder. Identifierade åtgärder beskrivs, prioriteras, kostnadsuppskattas, dimensioneras och dokumenteras i en åtgärdsplan.

Beredskapsplan

Det kommer att ta lång tid innan åtgärdsplanen blir verklighet. Under tiden måste beredskapsåtgärder kunna hantera konsekvenserna vid ett skyfall. Skyfallskarteringen och konsekvensanalysen kan användas som underlag till en beredskapsplan där fokus ligger på kortsiktiga åtgärder i ett akut skede. Det kan till exempel handla om vilka vägar som behöver stängas av och hur trafiken kan ledas om, eller var pumpning kan lindra konsekvenserna.

Genomförande och uppföljning

Efter genomförande av momenten ovan behöver arbetet kontinuerligt följas upp för att bedöma status och dra lärdom av genomfört arbete.

1.2 Kommunens ansvar för hantering av översvämningsrisker

"Vid planläggning och i ärenden om bygglov eller förhandsbesked enligt denna lag ska bebyggelse och byggnadsverk lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till (...) risken för olyckor, översvämning och erosion"

(Plan- och bygglagen, 2 kap 5 §)

För en hållbar hantering av översvämningsrisker i samband med planering och byggande krävs det att kommunen anpassar planarbetet utifrån gällande lagkrav och riktlinjer från myndigheter och branschorganisationer. Enligt plan- och bygglagen ska bebyggelse lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet, bland annat med hänsyn till översvämningsrisk. Vad som utgör lämplig mark framgår av anvisningar från Länsstyrelsen och Boverket, och det behöver därför säkerställas i samband med planering och byggande att dessa uppfylls. I Tabell 1-1 nedan sammanfattas dessa anvisningar avseende lägsta grundläggningsnivå och dimensionerande händelser.

Tabell 1-1. Lägsta grundläggningsnivå eller lägsta dimensionerande regn som ny bebyggelse generellt ska anpassas för enligt anvisningar från Länsstyrelsen och Boverket.

	Samhällsviktig verksamhet	Sammanhållen bebyggelse
Havet	Beräknad högsta nivå (+2,7 m RH 2000)	
Vattendrag och sjöar	Beräknat högsta flöde	
	Större än klimatanpassat 100-årsregn	Klimatanpassat 100-årsregn

100-årsregn innebär att regnets intensitet och volym är så stort att sannolikheten för att det ska inträffa är en gång vart hundra år. Observera att detta innebär att händelsen kan inträffa flera gånger under samma tidsperiod. Eftersom vi exponeras för översvämningar över tid – inte bara under ett år – kan sannolikheten även beräknas för en tidsperiod. Sannolikheten för att ett 100-årsregn inträffar minst en gång under 100 år är 63 %. Klimatanpassning av regn innebär generellt att intensiteten och volymen ökas med en s.k. klimatfaktor, då kraftiga regn förväntas inträffa oftare i framtiden på grund av klimatförändringar.

Beräknat högsta flöde innebär ett flöde i vattendrag där flera olika ogynnsamma hydrologiska situationer samverkar – t ex snösmältning, kraftiga och långvariga regn och höga grundvattennivåer.

1.3 Lashänvisning

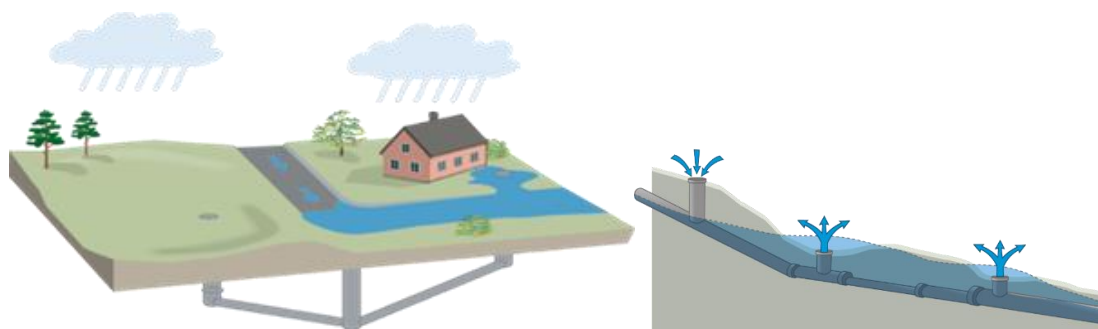
I **kapitel 2** beskrivs den metodik som tillämpats vid karteringen av skyfall. I **kapitel 3** presenteras kartläggningen av regnet 2018 och hur väl modellen överensstämmer med observationer. I **kapitel 4** redovisas resultaten från karteringen av ett klimatanpassat 100-årsregn. I **kapitel 5** ges rekommendationer kring fortsatt arbete. Avslutningsvis beskrivs den digitala leveransen följt av referenser i **kapitel 6** respektive **kapitel 7**.

2 Metodik

Vid normala regn hanteras regnvolymen antingen genom avledning till samhällets dagvattensystem eller genom infiltration på permeabla, gröna ytor. Vid extrema regn överskrider dagvattensystemets kapacitet och markens infiltrationsförmåga vilket medför att det sker en avrinning på markytan med marköversvämning som följd. I syfte att kartlägga var vattnet rinner och skapar översvämning har en skyfallskartering gjorts för Uppsala tätort med omnejd.

Beräkningarna har genomförts med en kopplad markavrinnings- och ledningsnätsmodell. Kopplingen innebär att vatten både kan tränga upp ur, eller rinna ner i ledningsnätet, beroende på om det finns outnyttjad kapacitet i ledningssystemet eller ej. Detta ger en korrekt bild över hela översvämningsförloppet och tar samtidigt hänsyn till de lokala skillnaderna som finns runt om i ett dagvattensystem. I Figur 2-1 illustreras principen för modellen, som även finns mer utförligt beskriven i *"Vägledning för skyfallskartering – Tips för genomförande och exempel på användning"*¹.

I följande avsnitt redogörs för generella beräkningsförutsättningar och gjorda antaganden.



Figur 2-1. Illustration av kopplad markavrinnings- och ledningsnätsmodell.

2.1 Markavrinningsmodell

Utifrån laserskannad höjddata från 2020 har tvådimensionella hydrauliska markavrinningsmodeller etablerats i programvaran MIKE+ 2D Overland. Modellen beräknar flödet på markytan i två dimensioner, x-led och y-led. I Figur 2-2 presenteras utbredningen för de fyra delmodellområdena som med marginal täcker in Uppsala tätort. Avgränsning av delmodellområdena har gjorts utifrån topografiska och tekniska (dagvattenledningsnätet) avrinningsområden. Ett överlapp mellan områdena har lagts till för att undvika eventuella randeffekter i modellresultaten.

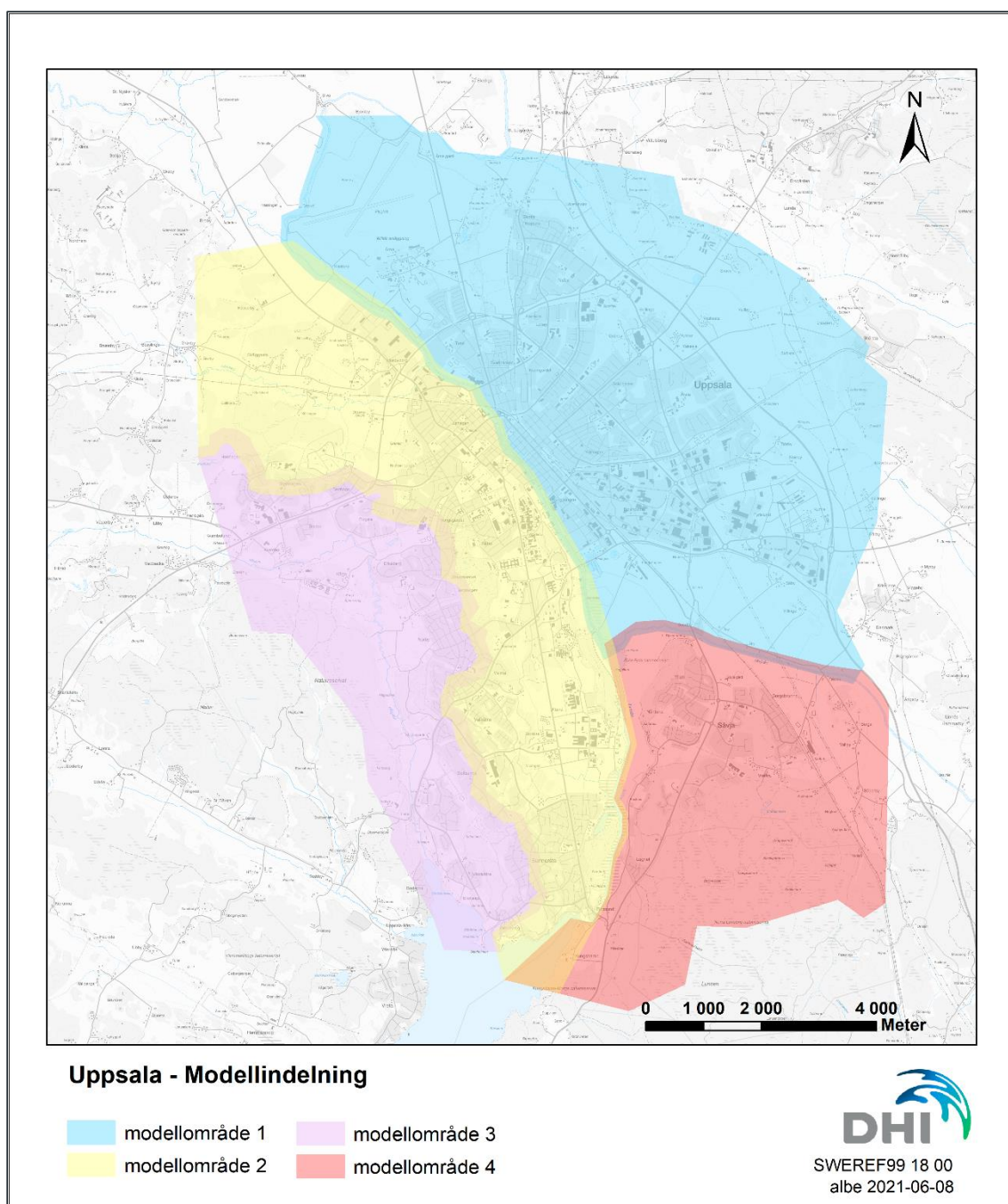
Den horisontella upplösningen på modellen har satts till 4 m. Detta innebär att ett område på 4 x 4 meter representeras av ett höjdvärde. Upplösningen på resultatet blir samma som upplösningen i modellen. Alltså beräknas vattendjup för varje område på 4 x 4 meter. Valet av upplösning har gjorts för att på ett tillräckligt detaljerat sätt kunna beskriva urbana strukturer och samtidigt få rimliga beräkningstider. Vid detaljerade studier på kvartersnivå kan det vara motiverat att öka upplösningen till 2 x 2 meter.

En bearbetning av höjdmodellen har gjorts för att beskriva de verkliga vattentransportförhållandena vilket innebär att samtliga byggnader har inkluderats i höjdmodellen så att transport av vatten inte sker över/igenom en byggnad. Vidare har

¹ Mårtensson E, Gustafsson L-G (2017). *Vägledning för skyfallskartering – Tips för genomförande och exempel på användning*. MSB1121, augusti 2017.

terrängmodellen justerats för viadukter i syfte att beskriva nivån på vägbanan i viadukten och inte nivån på vägen över.

Ytans råhet, vilken styr vattnets hastighet på markytan och således påverkar översvämningsförloppet, har differentierats mellan hårdgjorda ytor och övriga permeabla ytor. Hårdgjorda ytor samt vattenytor har beskrivits med en lägre råhet (mindre motstånd), motsvarande Mannings tal M på 50 för asfalterade ytor, M på 30 för hustak och M på 40 för vattenytor såsom dammar och åar. Övriga ytor har beskrivits med en högre råhet (större motstånd), motsvarande Mannings tal M på 2. De hårdgjorda ytorna utgörs av hustak och vägar baserat på primärkarta levererad av beställaren. En kompletterande analys av större hårdgjorda ytor såsom handels- och industriområden har genomförts utifrån manuell analys av kommunens ortofoto.



Figur 2-2. Utbredning för samtliga modellområden.

Till terrängmodellen har kopplats en infiltrationsmodul som låter delar av vattnet infiltrera istället för att rinna av på ytan. På alla ytor som inte antas vara hårdgjorda har infiltrationsmodulen aktiverats. Infiltrationshastigheten har ansatts utgående från SGUs jordartskarta. I Figur 2-3 kan en översikt ses över jordarterna i eller nära markytan. Infiltrationsförutsättningarna är relativt likartade inom större delen av området. De allra ytligaste jordlagren utgörs i huvudsak av lerjordar med begränsad infiltrationskapacitet. Områden med mer permeabla sand- och grusjordar återfinns längs med Fyrisåns västra sida samt vid Ulleråker, Eriksberg-Haga och Valsätra. I övrigt finns spridda områden med morän och urberg.

Beroende på de lokala jordartsförhållandena varierar den ansatta infiltrationshastigheten i modellen mellan 0 och 180 mm/h, se Tabell 2-1. Infiltrationslagrets mäktighet har satts till 0,3 m med en total porositet på 0,4. Detta innebär en total magasinskapacitet i marken på 120 mm (0,4 x 0,3 m). I områden där jordartskartan visar urberg har det antagits ett överlagrande jordlager utifrån kompletterande ytskiktsslag från SGU. Överlagrande jordart har antagits en mäktighet på 0,1 m och med porositet på 0,4.

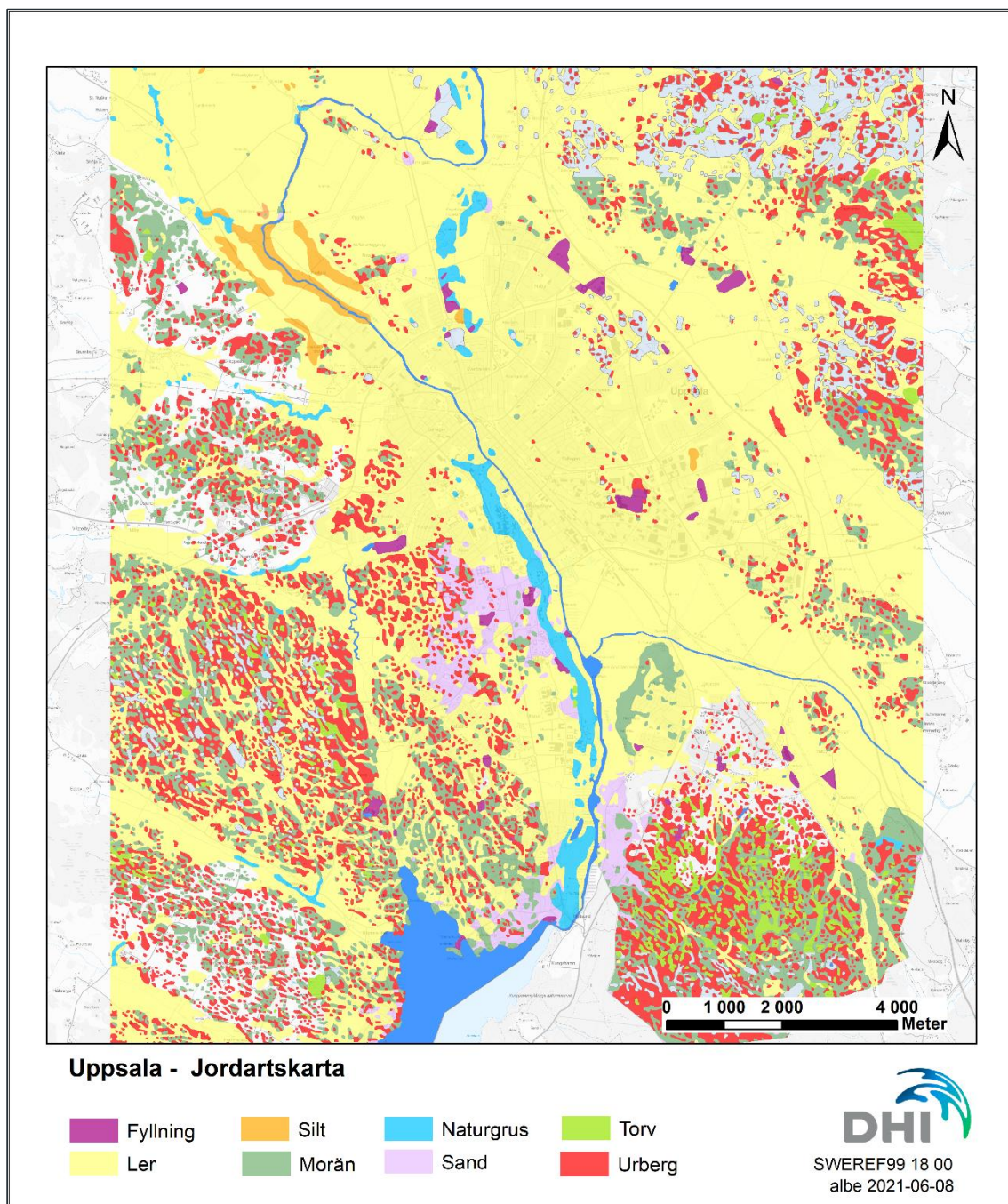
För att möjliggöra infiltration spelar tidsförloppet in, så även om 120 mm nederbörd faller på en yta med denna magasineringsförmåga, beror infiltrerad volym på hur länge vattnet ligger kvar i detta område. Vid större lutning i terrängen hinner ofta inte vattnet infiltrera innan det runnit vidare, medan det vid lågpunkter kan ansamlas stora volymer där infiltrationen successivt pågår tills markmagasinet fyllts. Dessutom antas inte marken vara helt torr vid regnets start. Den initiala markvattenhalten har ansatts utifrån antagandet att regnet inträffar sommartid och har föregåtts av en veckas torrväder.

Infiltrationsmodulen inkluderar även beskrivning av ett möjligt läckage från det övre markmagasinet till en tänkt grundvattenyta. I praktiken har dock denna process mycket liten inverkan vid denna typ av beräkning då läckaget generellt är väsentligt lägre än infiltrationen.

Genom Uppsala löper en järnväg från söder till norr. Järnvägsbankar är uppbyggda av djupa konstruktioner av kraftigt dränerande makadam och underballast med stor magasineringskapacitet vid kraftiga regn. I infiltrationsmodulen har beskrivning av järnvägsbankar inkluderats med total magasinskapacitet för på 800 mm (0,4 x 2 m) och med en infiltrationshastighet på 360 mm. Läckagehastighet ansätts utifrån lokala jordartsförhållanden.

Tabell 2-1. Ansatta infiltrations- och läckagehastigheter (mm/h) för olika jordarter.

Parameter	Hårdgjorda ytor	Urberg	Sand/isälvs-material	Morän	Organisk jordart (torv)	Lera
Infiltrationshastighet (mm/h)	0	Varierande	180	36	18	3,6
Läckagehastighet (mm/h)	0	0,036	18	3,6	1,8	0,36



Figur 2-3 Förekommande jordarter i eller nära markytan.

2.2 Dagvattenmodell

Hydrauliska modeller för dagvattensystemet har erhållits från Uppsala Vatten. Dessa har sammanslagits till större modeller motsvarande storleken på studerat modellområde samt därefter konverterats till MIKE+.

Till modellerna har betydande kulvertar och vägtrummor som ej är sammankopplade med ledningssystemet, men spelar en viktig roll för vattentransporten, adderats utifrån levererat underlag. Randvillkor för utloppsnivåer i Fyrisån har uppdaterats utifrån information kring

vattennivåer i olika delar av Fyrisån samt från initiala simuleringar med markavrinningsmodellen. Vidare har nyligen anlagda BGG-system i Rosendal lagts till i modellen.

Det mindre vattendraget Hågaån har en betydande funktion i dagvattensystemet men fångas inte helt upp av höjdmodellen. Därmed har denna beskrivits hydrauliskt i ledningsnätetsmodellen med tvärsektioner antagna utifrån kartbilder, foton från området och höjdmodellen.

2.3 Dynamisk koppling av modeller

I den kopplade modellen sker avrinning på ytan och i ledningsnätet parallellt. När vatten, via brunnar, tränger upp på markytan fungerar det som en ventil för systemet. Detta medför att trycket sjunker och kapacitet frigörs i ledningsnätet. Genom den dynamiska kopplingen mellan markavrinningsmodellen och den hydrauliska ledningsnätetsmodellen tas hänsyn till ledningsnätets specifika kapacitet och vattenutbytet mellan markytan och ledningar. Detta ger en korrekt bild över hela systemet och tar samtidigt hänsyn till de lokala skillnaderna som finns runt om i ett dagvattensystem.

Brunnar och utlopp i dagvattenmodellen har kopplats till markavrinningsmodellen. Kopplingen innebär att dagvatten både kan tränga upp ur eller rinna ner i ledningsnätet beroende på om det finns outnyttjad kapacitet i ledningssystemet eller ej. Ledningsnätetsmodellen innehåller främst nedstigningsbrunnar. Utifrån erfarenheter av både rännstensbrunnars kapacitet samt vilka maximala utflöden som kan genereras från ledningsnät till markyta i anslutning till nedstigningsbrunnar har ett maximalt brunnsutbyte på 0.5 m³/s ansatts vid koppling av dagvattenbrunnar. Maxflödet för utbyte beskriver utbytet i båda riktningar, varför detta ska ansättas både för att beskriva ett begränsat inflöde genom rännstensbrunnar men även ett utflöde som kan ske genom rännstensbrunnar eller då trycknivåer i ledningssystemet har orsakat brunnslöck att flyga av. Det senare scenariot ger en betydligt högre potentiell utbyteskapacitet. Ett lägre maxflöde riskerar underskatta marköversvämning från ledningsnät i områden med kapacitetsbrist där brunnslöck har flugit av medan ett för högt maxflöde riskerar att underskatta marköversvämning högre upp i systemet där rännstensbrunnarna sväljer större volymer än vad de egentligen bör kunna hantera. För dagvattenutlopp samt utbyte mellan markyta och vattendrag styrs flödesutbyte av strukturernas geometrier.

2.4 Fyrisån

Fyrisån skär genom centrala Uppsala och utgör recipient för stora delar av stadens dagvatten. Utifrån initiala beräkningar av framtida 100-årsregn med enbart en markavrinningsmodell har det påvisats att nivåer i Fyrisån vid studerat skyfallsscenario inte kommer påverka översvämningen i tätorten. Detta styrks även av nivåmätningar i ån från skyfallet 2018. Anledningen till att nivåerna inte stiger mer förklaras av Fyrisåns storlek/kapacitet i förhållande till den avrinning som genereras till ån i samband med det studerade regnet. Det regn som studeras är ett skyfall under sommartid med hög intensitet men kort varaktighet. Höga nivåer i Fyrisån orsakas av volymrika regn med längre varaktighet som framförallt inträffar under vinterhalvåret. Även vårflood i samband med snösmältning kan ge höga nivåer och översvämning som följd. Studerat skyfall inträffar företrädesvis under sommarhalvåret.

Fyrisån har beskrivits utifrån laserskannade höjddata med viss justering av höjder inom den reglerade delen av Fyrisån inom Uppsala tätort, baserat på underlag från beställare. För att bättre beskriva råheten i ån har ett mannings tal M på 40 använts för vattendraget. Resulterande nivåer i Fyrisån vid dimensionerande skyfall från de initiala beräkningarna har utgjort randvillkor för dagvattenutloppen i vattendraget.

2.5 Regnscenarier

Med upprättade modeller har Uppsalaregnet 2018 samt framtida 100-årsregn studerats. Regnet 2018 har använts för att verifiera upprättade modeller och säkerställa en god överensstämmelse mellan beräknad och observerad översvåmningsutbredning. I följande avsnitt beskrivs de båda regnen.

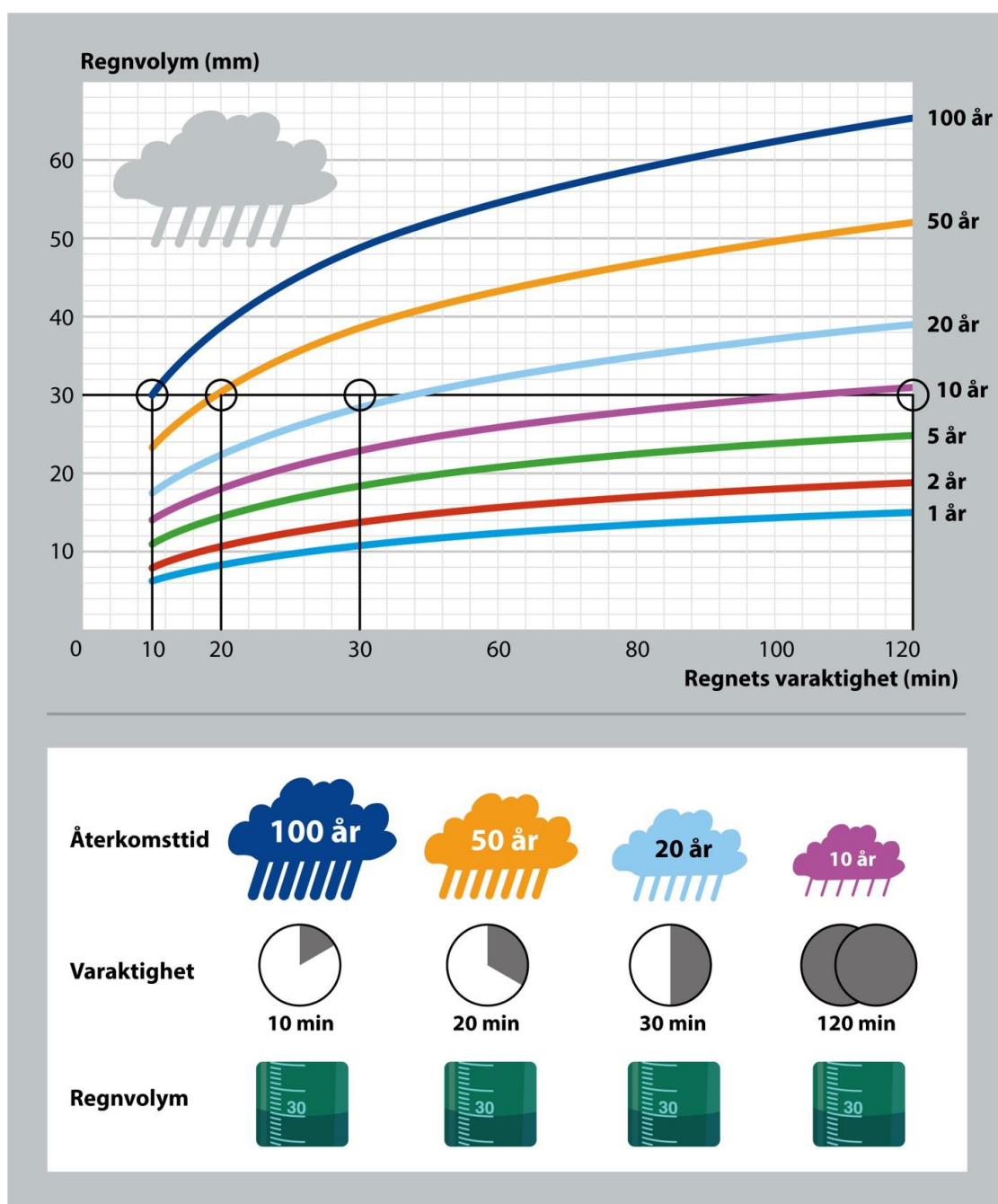
2.5.1 Framtida 100-årsregn

Studerat framtida 100-årsregn är av typen CDS med central regntopp och en total varaktighet på 6 timmar. CDS-regn innebär att regnvolymer är statistiskt korrekta för alla varaktigheter inom regnet, i detta fall från 5 minuter upp till 6 timmar. Återkomsttiden har valts med utgångspunkt från gällande riktlinjer vad gäller kommunens ansvar vid nyexploatering (se avsnitt 1.2).

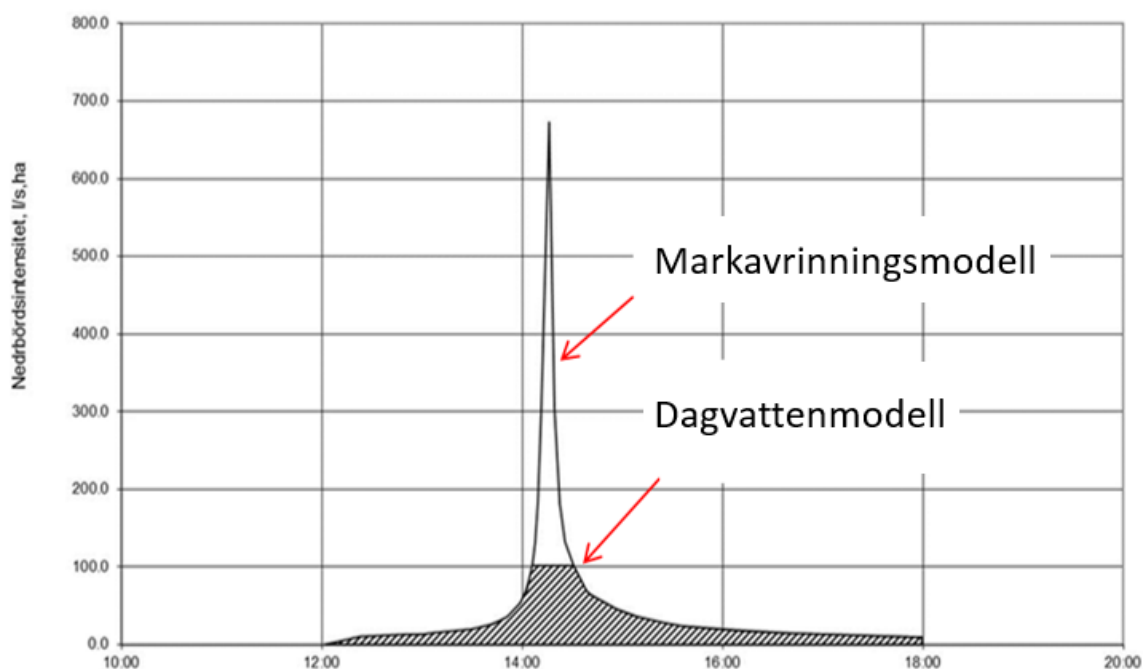
Återkomsttiden är direkt relaterad till regnhändelsens årliga sannolikhet, där ett 100-årsregn har sannolikheten 1/100 att inträffa under ett år. Ett regns varaktighet påverkar både den totala regnvolymen och den genomsnittliga intensiteten. Exempelvis kan ett 10-årsregn med 2 timmars varaktighet vara lika volymrikt som ett 100-årsregn med 10 minuters varaktighet, men det senare regnet är mycket mer intensivt. I Figur 2-4 visas sambandet mellan ett regns återkomsttid, varaktighet och volym för olika återkomsttider.

Både markavrinnings- och dagvattenmodellen har belastats med nederbörd där avrinningen sker på ytan och i ledningsnätet parallellt. Som utgångspunkt har dagvattenmodellen belastats med ett 10-årsregn på hårdgjorda ytor, vilka antas ledas till ledningsnätet. I markavrinningsmodellen belastas därmed hårdgjorda ytor (som antas leda till ledningsnätet) med differensen mellan studerat regn och ett 10-årsregn. Övriga ytor belastas med hela regnet. I Figur 2-5 illustreras principen för hur det belastande regnet fördelats mellan markavrinningsmodell och dagvattenmodell på hårdgjorda ytor i de fall belastande regn är större än ett 10-årsregn. För att beakta effekterna av klimatförändringar har en klimatkoefficient på 1,3 adderats. Detta motsvarar ett regn med återkomsttid strax över 200 år i dagens klimat.

Enbart den mest intensiva 30-minutersperioden och efterföljande regn har studerats med den kopplade modellen. Intensiteten för förregnet är lägre än bedömd kapacitet för både ledningsnät och markens infiltrationsförmåga. Förregnets volym (26 mm) har inkluderats i markmagasinet, vilket innebär att den tillgängliga magasinskapaciteten minskats med motsvarande volym. Hela regnförloppet har studerats med dagvattenmodellen medan kopplingen modellerna emellan är gjord vid starten av den mest intensiva 30-minuters perioden. Simuleringen fortsätter sedan ca fyra timmar efter regnpeaken för att fånga fördröjningar i systemet till följd av trånga passager både på markytan och i ledningsnätet.



Figur 2-4. Diagrammet visar sambandet mellan ett regns volym, varaktighet och återkomsttid. Den totala regnvolymen ökar avtagande med återkomsttiden och varaktigheten. Därmed kan ett regn med lång varaktighet, men kort återkomsttid ge lika stor regnvolym som ett regn med längre återkomsttid men kortare varaktighet (Mårtensson och Gustafsson, 2017).



Figur 2-5. Principiell illustration av hur studerat regn fördelas över hårdgjorda ytor i markavrinningsmodell och dagvattenmodell.

2.5.2 Uppsalaregnet 2018

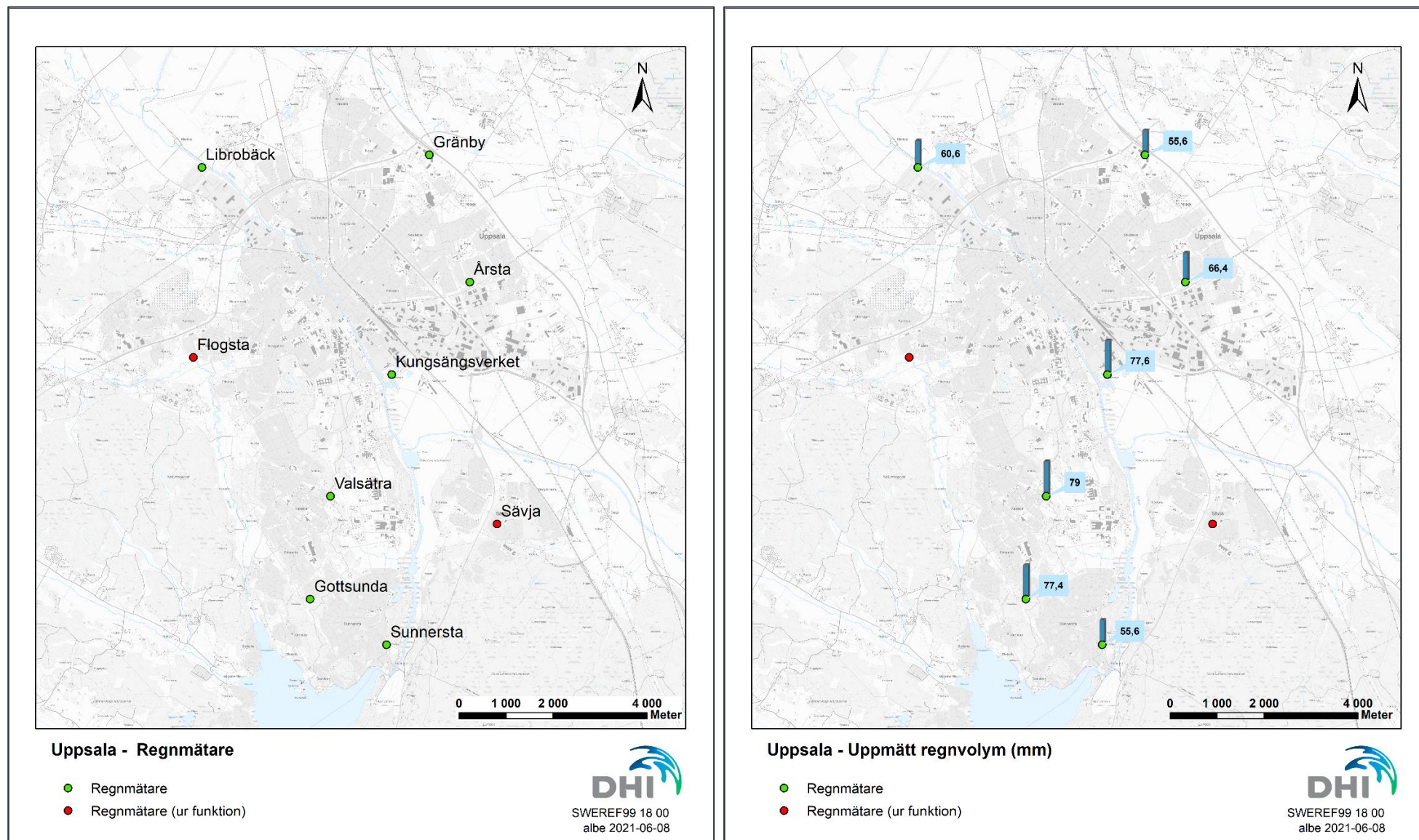
Nederbörd i samband med skyfallet som föll över Uppsala den 29/7 2018 registrerades av sammanlagt elva (11) mätare inom Uppsala kommun. Mätarnas placering visas i Figur 2-6. Här inkluderas även två mätare vilka var ur funktion vid regntillfället. I samma figur visas den totala nederbördsvolymen under regnförloppet. Störst regnvolym, 79 mm, uppmättes i Valsätra och minst, 26 mm, i Järlåsa. Övriga mätare registrerade generellt volymer runt 60 mm.

För det aktuella regntillfället har maximal intensitet för en viss varaktighet (från 5 min upp till 6 timmar) bestämts – regnets maximala medelintensitet. Maximal medelintensitet (blockregnsintensiteten) för en given varaktighet definieras alltså som det största medelvärde nederbördsintensiteten har under någon del av regnet. De framtagna blockregnsintensiteterna har ställts i relation till regnstatistik i intensitets-varaktighetssamband (jmf Figur 2-4) och har räknats om till återkomsttider enligt metodik beskriven i Svenskt Vatten P104. Framräknade maximala återkomsttider redovisas i Figur 2-7 som visar att den maximala återkomsttiden är uppemot 200 år för mätarna i Valsätra och Gottsunda. Vid Kungsängsverket är återkomsttiden strax över 100 år medan övriga mätare ligger mellan 40 och 70 år.

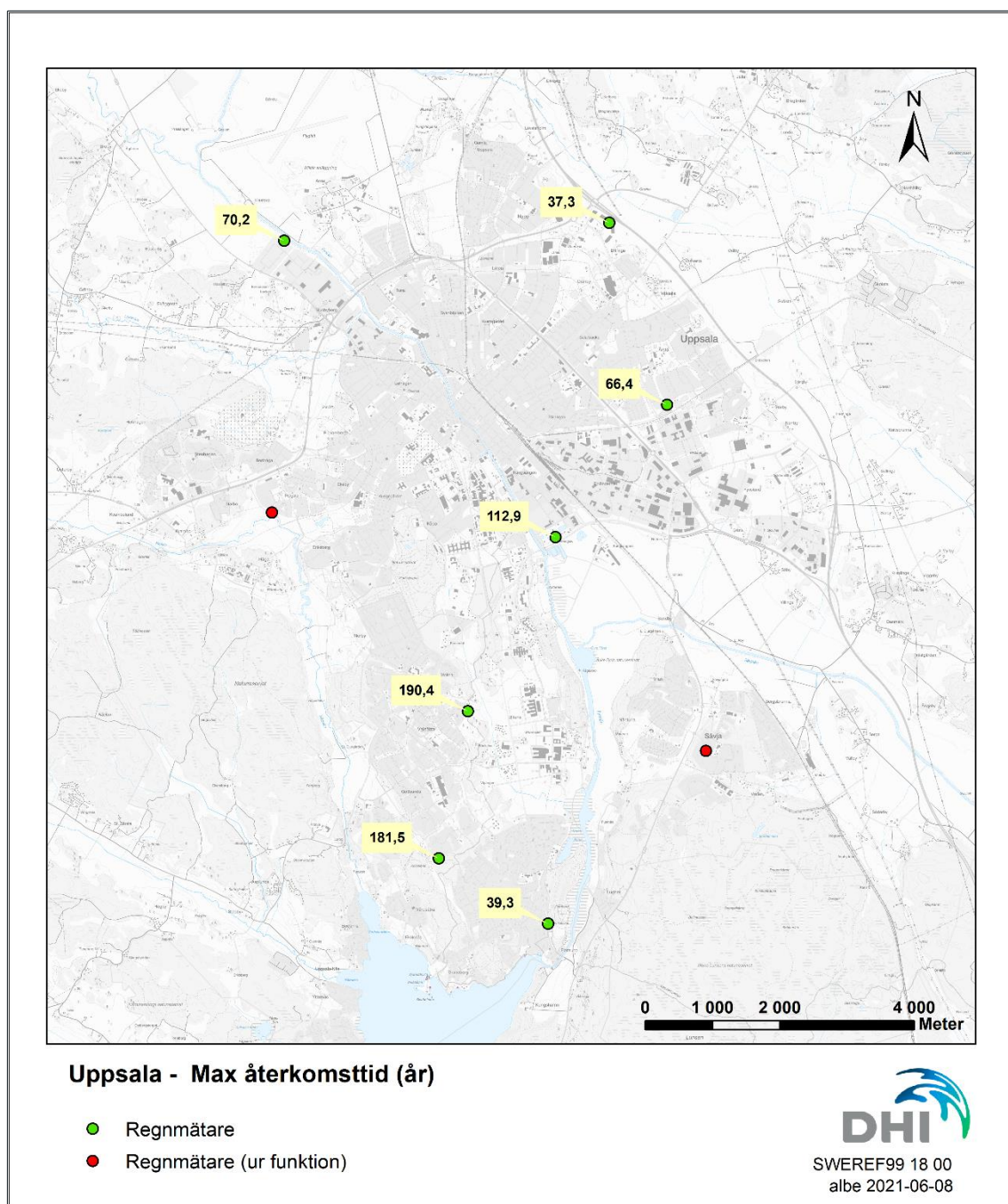
I Figur 2-8 visas ett intensitets-varaktighets diagram för Uppsalaregnet tillsammans med andra regnhändelser² under 2000-talet och regnstatistik. Jämfört med andra uppmätta regnhändelser är Uppsalaregnet ett av de värsta som inträffat i Sverige.

² Observera att detta endast inkluderar de händelser som DHI har haft tillgång till högupplöst regndata för och inte utgör en fullständig sammanställning.

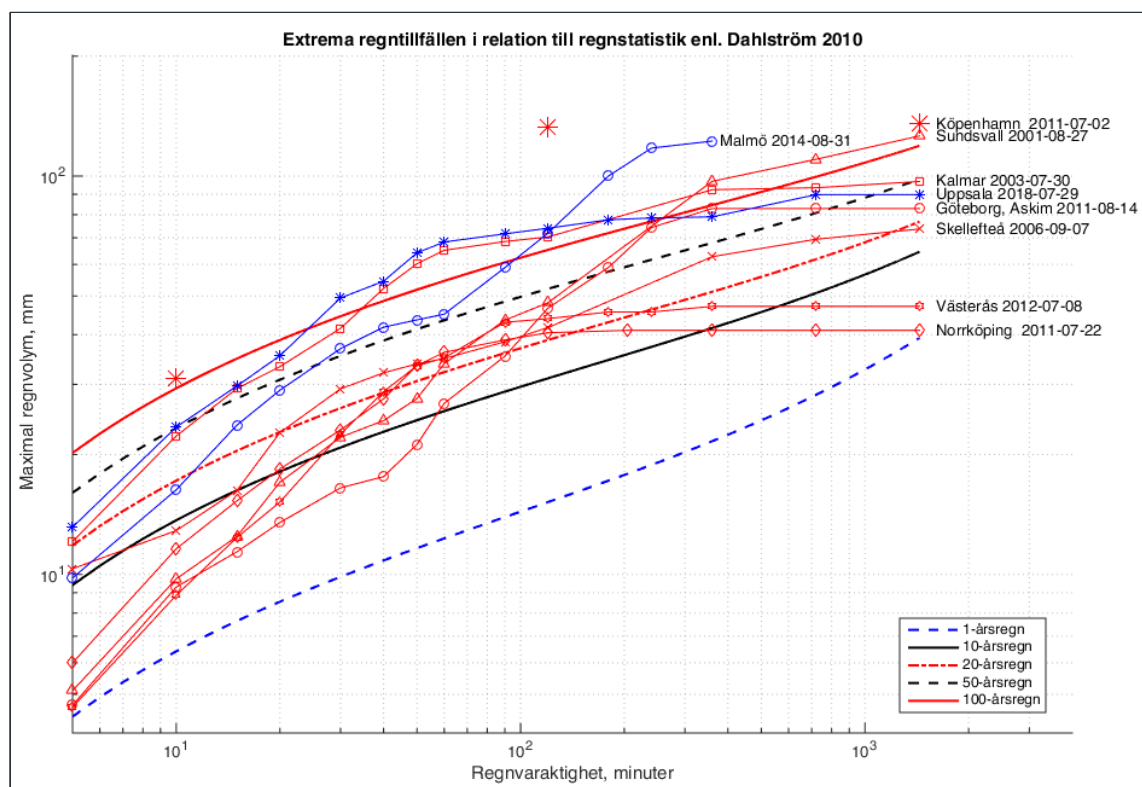
För att få en areell beskrivning av regnet som täcker hela modellområdet har interpolering av uppmätt regnvolym gjorts mellan de kända punkterna (nederbördsmätarna). Här har s.k. avståndsviktad interpolation (inverse distance weighted interpolation) använts som en bedömning av det vi inte känner till, dvs. regnintensitet i områdena mellan mätarna. Interpoleringen har gjorts var 15:e minut under hela regnförloppet. Detta innebär att tidsvarierande kartsikt med 15-minuters tidssteg har skapats för hela modellområdet. På så sätt har den tidsmässiga och areella variationen i regnintensiteten kunnat beskrivas med modellen för att kartlägga översvämningsförloppet i samband med regnet 2018. Enligt samma principer som för 100-årsregnet har regnbelastningen fördelats mellan markavrinnings- och dagvattenmodellen.



Figur 2-6 Vänstra bilden: Nederbörds-mätare i Uppsala tätort den 29 juli 2018. Högra bilden: registrerad totalvoly (mm) för regnet vid de olika regnstationerna.



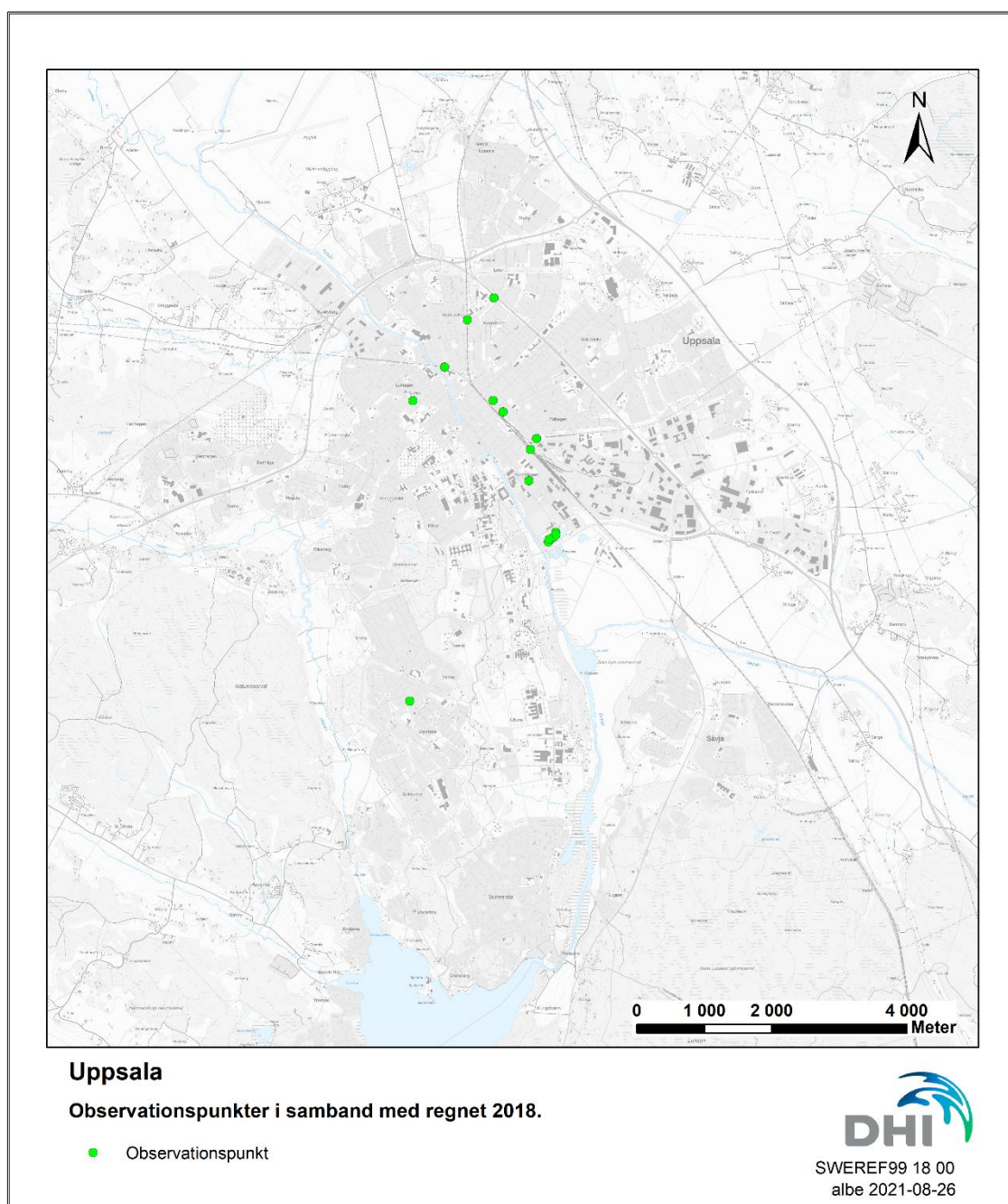
Figur 2-7 Lokala återkomsttider för regnet baserade på högsta regnintensitet registrerat av nederbördsrättare.



Figur 2-8 Nederbördsvolym (mm) som funktion av varaktighet (minuter) och återkomsttid (år) för inträffade extrema regnhändelser i Sverige i relation till regnstatistik.

3 Verifiering av modell – skyfallet 2018

Observationer i form av bilder av översvämningsutbredningen i samband med regnet den 29 juli 2018 har sammanställts av Uppsala Vatten. I Figur 3-1 visas läget för de 15-talet bilder som använts för att jämföra beräknad översvämningsutbredning med observationer. Mätningar av vattendjup saknas varför jämförelser enbart har gjorts för översvämningsutbredning. Observationerna är huvudsakligen koncentrerade till de centrala delarna av Uppsala.



Figur 3-1. Observationspunkter i samband med regnet 2018 vilka har använts för verifiering av modellresultat.

Tillförlitligheten mellan olika observationer skiljer sig åt. Från en bild är det svårt att veta tidpunkt för observationen. Bilden kan vara tagen någon gång under regnförloppet eller långt efter skyfallet. Den största osäkerheten i beräkningarna är kopplat till beskrivning av markens

infiltrationsförmåga. Även regnets volyms- och intensitetsvariation innehåller osäkerheter, speciellt på lokal rumslig skala.

Det förhållandevis täta nätet av regnmätare i Uppsala gör förutsättningarna goda för att dessa ska ha fångat regnets rumsliga och intensitetsmässiga variation. Två av mätarna (Flogsta och Sävja) var dock ur funktion varför osäkerheten är större i dessa områden. Generellt gäller att osäkerheten i mätningarna och därmed även i modellresultaten ökar med avståndet från mätaren.

En större osäkerhet finns i antagen infiltrationskapacitet. Denna parameter kan uppvisa stora lokala variationer. Skillnader på en faktor 10 inom ett område med samma jordartsförhållanden är inte osannolikt. Vid verifiering av modellen har därför fokus legat på att vid behov justera denna parameter för att uppnå en god överensstämmelse mellan modellerade och observerade vattendjup.

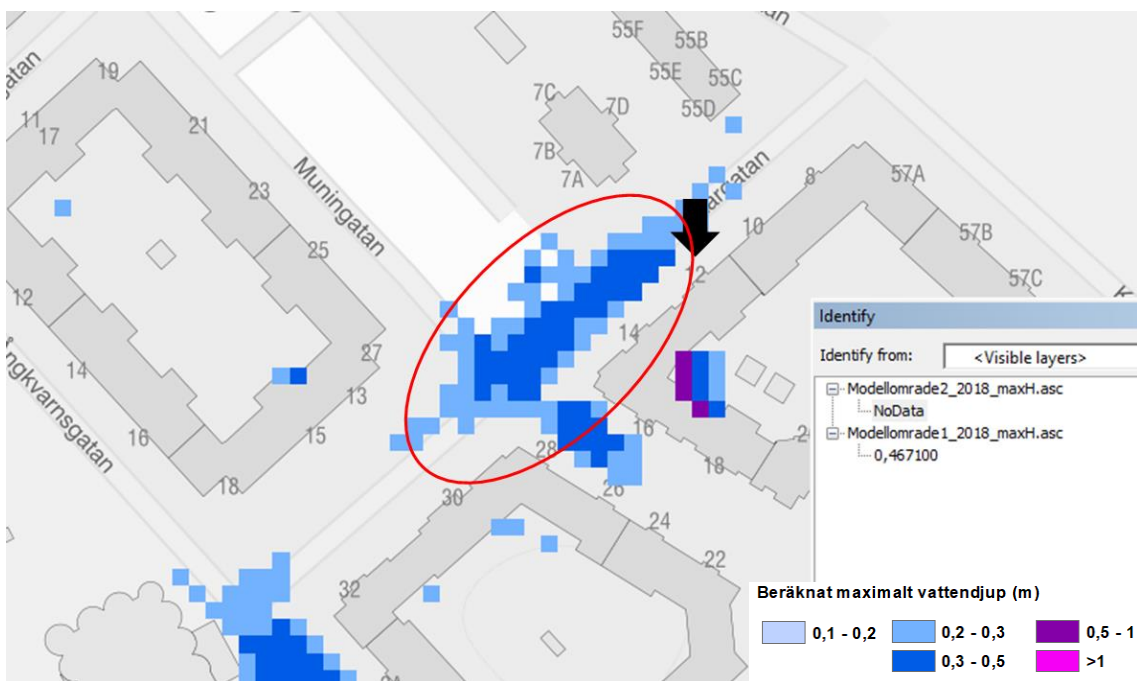
Lokalt finns det även osäkerheter kopplade till felaktigheter i höjdmodellen. Även om vattenvolymen på marken är korrekt beräknad inom ett område, kan detta ge avvikelser i var översvämningen visar sig och hur stor utbredningen blir. Detta blir tydligast inom flacka områden. Här kan relativt små fel i höjdmodellen ge felaktiga resultat. Denna osäkerhet förstärks av modellens upplösning i plan (4x4 m). En finare upplösning är dock inte praktiskt möjlig då detta skulle generera långa beräkningstider.

3.1 Observerat jämfört med beräknad översvämningsutbredning

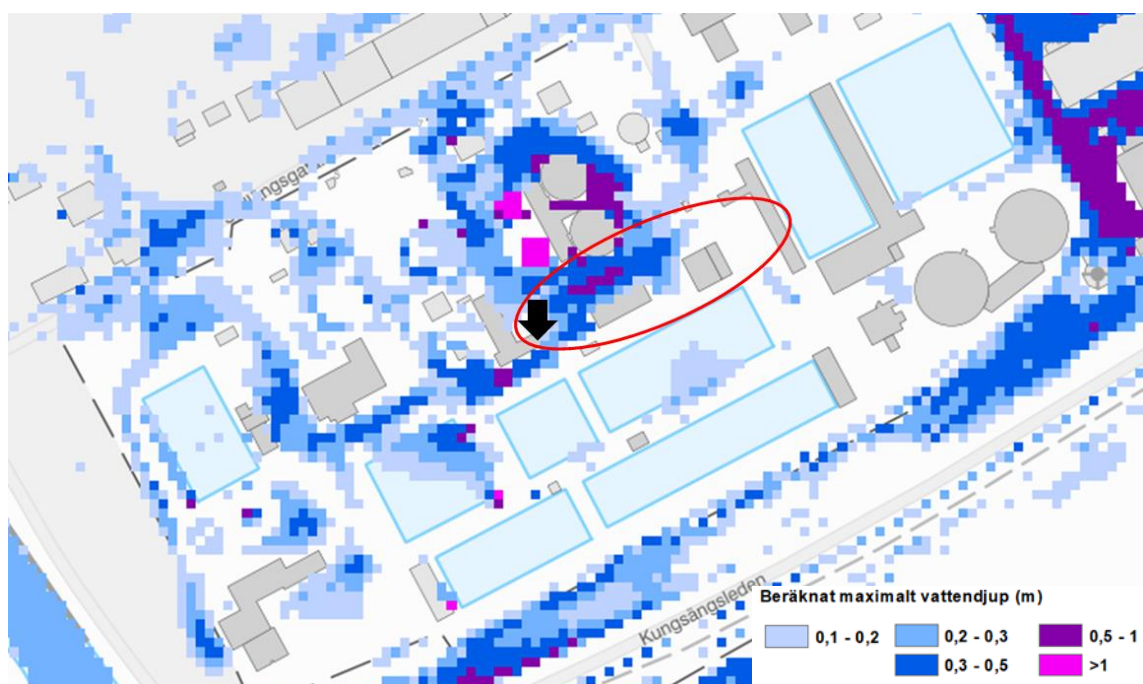
I Figur 3-2 och Figur 3-3 visas observationer och beräknad översvämningsutbredning för ett antal utvalda platser. Jämförelser för samtliga platser återfinns i Bilaga A. Generellt ses en mycket god överensstämmelse med förhållandevis små avvikelser. Mindre vikt bör läggas på observationer från viadukter då det på dessa platser är "lättare" att uppnå en god överensstämmelse då översvämningen är koncentrerad till en begränsad yta och mätningar av vattendjup saknas. Med det menas att modellen kan se ut att ge en god överensstämmelse på utbredning men vattendjupet kan samtidigt ha stora avvikelser utan att det avspeglas på utbredningen.

Sammantaget kan konstateras att överensstämmelsen mellan beräknad och observerad översvämningsutbredning, och därmed trovärdigheten i resultaten, generellt är mycket god. De mindre avvikelser som kan ses av ovan nämnda anledningar är inte så stora att de motiverar någon justering av markens infiltrationskapacitet. Den goda överensstämmelsen kan förklaras av följande:

- Modellen beskriver samtliga ingående processer som avrinning på markytan, koppling och transport i ledningsnät samt infiltration på ett fysikaliskt korrekt sätt.
- Tillgång till högupplöst nederbördsdata från ett tätt stationsnät.
- Höjddata från aktuell (2020) skanning.
- Observationerna kommer främst från de centrala delarna av Uppsala där hårdgöringsgraden är hög och där således ansatta infiltrationshastigheter har mindre betydelse. En större avvikelse och osäkerhet i resultaten kan förväntas i områden där exploateringsgraden är lägre.



Figur 3-2. Observation från Siktargatan och beräknad maximal översvänningsutbredning och vattendjup.



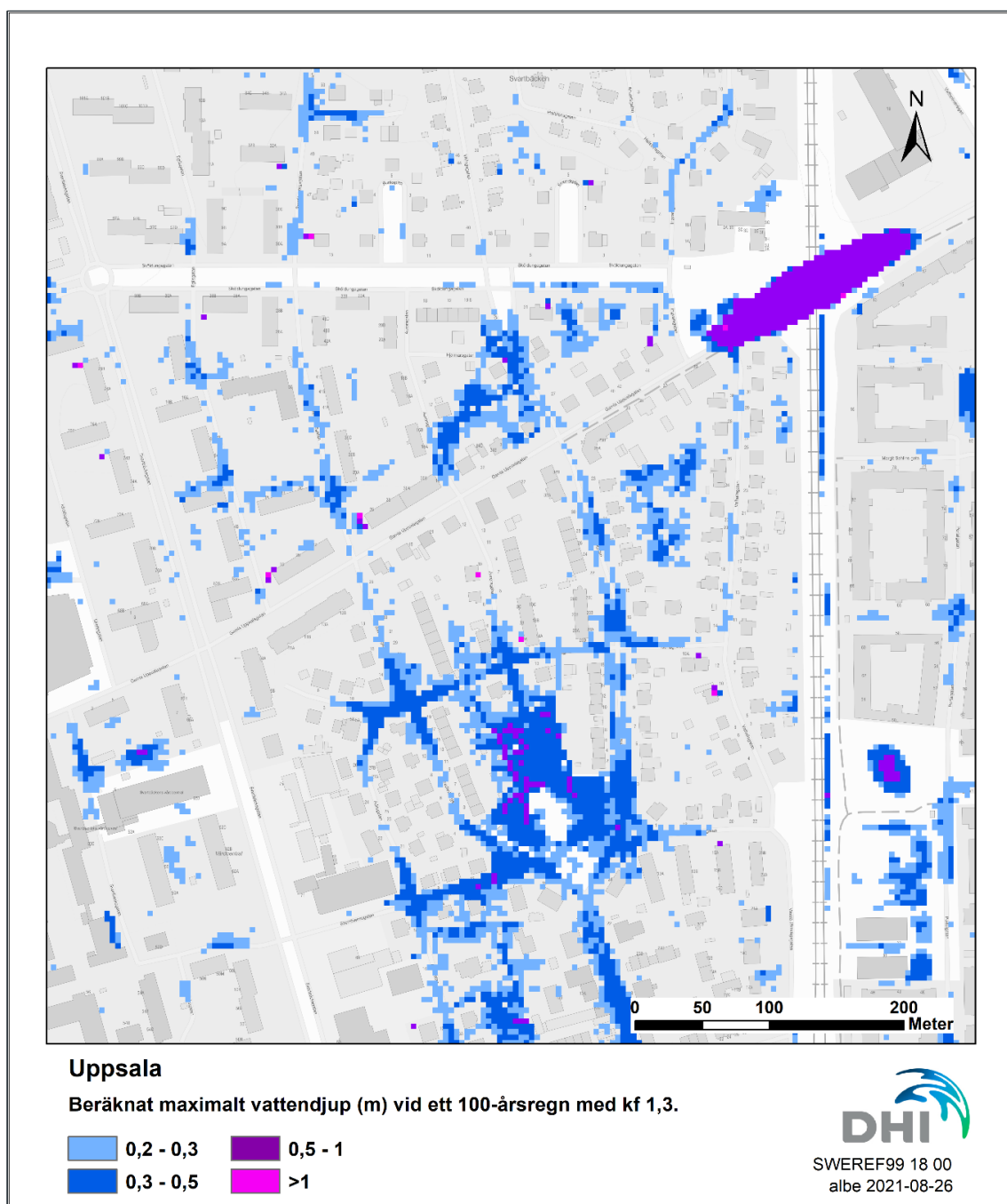
Figur 3-3. Observation från Kungsängsverket och beräknad maximal översvämningsutbredning och vattendjup.

4 Resultat – framtida 100-årsregn

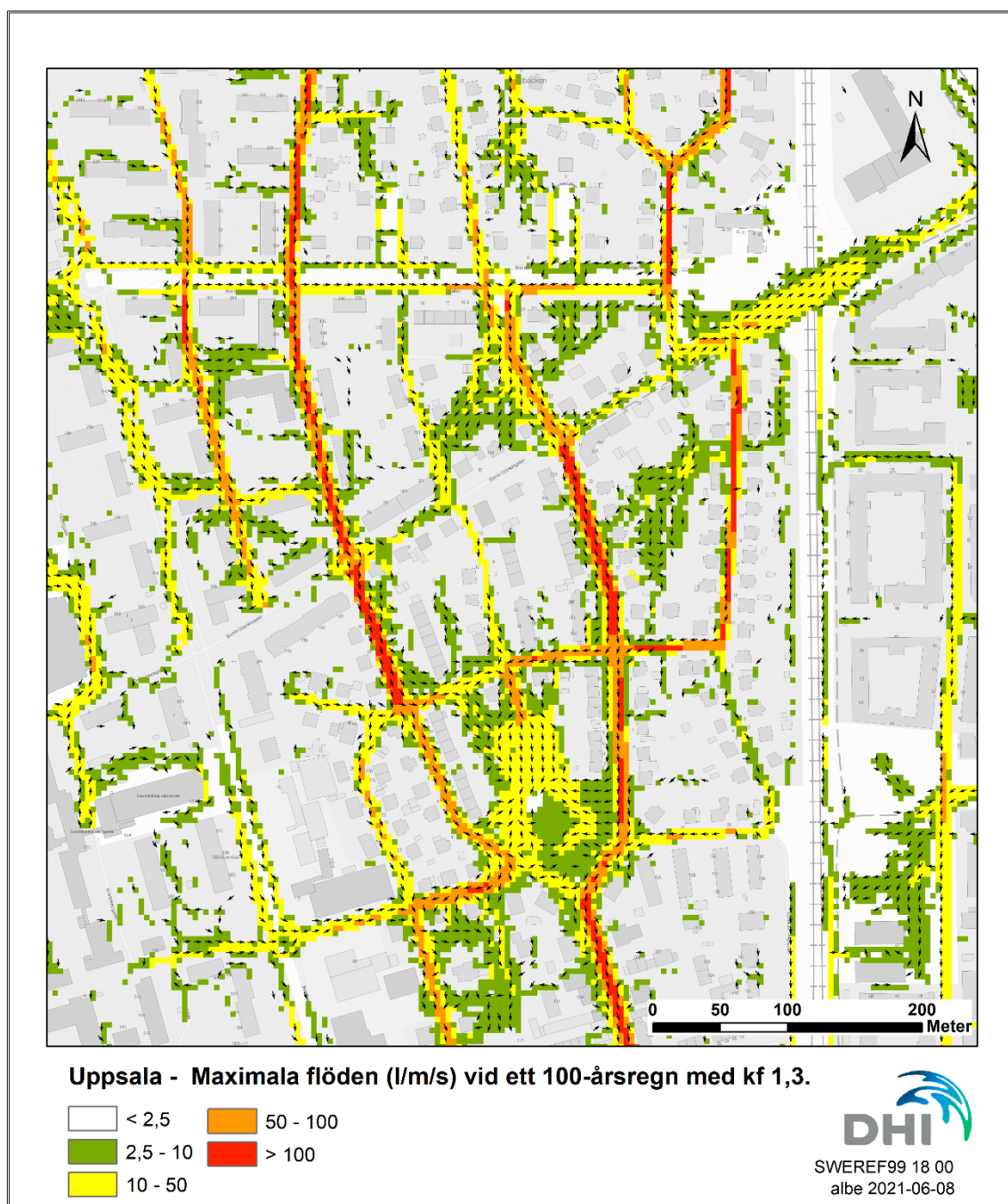
I följande avsnitt presenteras resultatexempel från genomförd skyfallskartering, beskrivning av vad resultaten visar och hur de ska tolkas. För specifika resultat hänvisas till levererat GIS-underlag, se kapitel 6.

4.1 Kartläggning av skyfall

Från resultaten har GIS-skikt tagits fram som visar maximala beräknade vattendjup, flöden samt flödesriktningar under översvämningsförloppet för framtida 100-årsregn. Kartorna visar alltså inte förhållandena vid en särskild tidpunkt under beräkningen, eftersom maximalt vattendjup uppstår vid olika tidpunkter i olika delar av ett modellområde. I Figur 4-1 och Figur 4-2 visas resultatexempel för beräknade vattendjup respektive ytvattenflöden och flödesriktning.



Figur 4-1. Resultatexempel – beräknade maximala vattendjup i samband med ett 100-årsregn med klimatfaktor 1,3.



Figur 4-2. Resultatexempel – beräknade maximala vattendjup i samband med ett 100-årsregn med klimatkfaktor 1,3.

4.2 Tolkning av resultat

Översvämningskartorna visar områden där vatten riskerar att bli stående och orsaka en översvämning på ytan i samband med studerade regn. Viktigt är att ha i åtanke att översvämnningar, dvs. ansamlingar av vatten på markytan, inte nödvändigtvis utgör ett problem. Problem uppstår när vattnet orsakar en värdeförlust, påverkar kommunikation/transport, eller vid risk för hälsa och liv. Exempelvis uppstår sällan en värdeförlust då grönytor översvämmas medan stora värden kan gå förlorade då t.ex. ett villaområde eller en större trafikled drabbas.

Modellområdet har avgränsats med god marginal avseende avrinningsområde (tekniskt och marknivåer). Det bör dock noteras att resultaten nära modellranden kan vara missvisande. Vid nyttjande av resultat i nära anslutning till modellranden bör därför alltid en rimlighetsanalys genomföras.

4.2.1 Höjddata

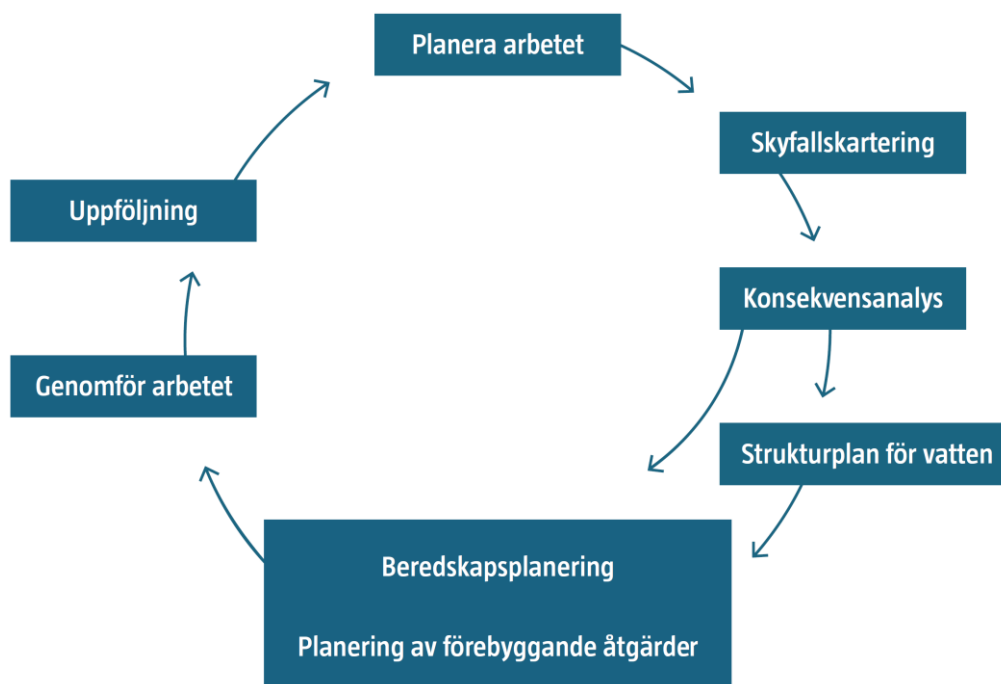
Resultaten från skyfallsanalysen baseras på de höjdförhållanden som förelåg då marknivåer skannades. Förändringar i marknivå, exempelvis till följd av exploateringar, som skett efter datum för skanning innebär sannolikt att resultaten inte är överensstämmande med dagens situation för dessa områden. I dessa områden behöver modellen uppdateras med nya marknivåer för att ge en korrekt bild av översvämningssituationen.

4.2.2 Vägtrummor

Höjddata har bearbetats för viadukter och broar, detta har gjorts för att möjliggöra vattentransporten i dessa områden. Däremot har höjddata inte modifierats att ta hänsyn till alla vägtrummor. Utifrån levererat underlag har de största och viktigaste vägtrummorna lagts till i etablerade ledningsnätmodeller men inte samtliga. Detta gör att det i resultaten på en del ställen kan ses vattenansamlingar strax uppströms vägar och banvallar där det i själva verket hade kunnat rinna vatten genom trummor eller kulverteringar. Majoriteten av denna typ av problematik uppstår utanför bebyggda områdena och har därför mindre inverkan på översvämningssområden som ger allvarliga konsekvenser.

5 Fortsatt arbete med skyfallsplan

Utredningen som har genomförts kartlagt översvämningsutbredning och vattendjup i samband med ett framtida 100-årsregn samt konsekvenserna på bebyggelse, samhällsviktig verksamhet och framkomlighet. Resultaten utgör ett underlag för vidare analyser till en skyfallsplan. I Figur 5-1 nedan visas föreslagen arbetsgång från *"Vägledning för skyfallskartering – Tips för genomförande och exempel på användning"*³ för att uppnå en skyfallstålig stad. Respektive moment beskrivs kortfattat i följande avsnitt.



Figur 5-1. Föreslagen arbetsgång för att uppnå en skyfallstålig stad.

Konsekvensanalys

En skyfallskartering resulterar i ett underlag som visar maximal översvämningsutbredning och vattendjup för de studerade regnen. Utifrån underlaget är det svårt att direkt utläsa konsekvenserna varför en strukturerad konsekvensanalys krävs för att ta vara på materialet. Det finns många olika sätt att genomföra en konsekvensanalys beroende på syfte och önskad detaljeringsgrad.

Ett sätt att identifiera var konsekvenserna av ett skyfall är som störst är att utgå från de verksamheter som bedöms vara mest skyddsvärda, dvs. de som har en stor negativ påverkan på samhället om de slås ut. De studeras i detalj med avseende på påverkan från beräknad översvämningsutbredning och vattendjup. Med detta angreppssätt görs en fokuserad insats på att analysera konsekvenserna för ett antal utvalda verksamheter/anläggningar.

För större tätorter med ett stort antal skyddsvärda verksamheter kan en inledande analys för prioritering av områden att studera i mer detalj vara lämplig. Principen är att information om markanvändning klassas och värderas där skyddsvärda objekt ges en högre värdering. Värderingen kombineras med beräknade vattendjup för att skapa en konsekvenskarta som indikerar var översvämningen ger störst konsekvenser. Områden med stora och små vattendjup utan konsekvenser gallras på så sätt bort.

³ Mårtensson E, Gustafsson L-G (2017). *Vägledning för skyfallskartering – Tips för genomförande och exempel på användning*. MSB1121, augusti 2017.

Åtgärdsplanering och strukturplan för vatten

Konsekvensanalysen ger information om var skador och störningar blir som störst, men det är sällan så att den bästa lösningen är en åtgärd just där problemen uppstår. Åtgärder i uppströms liggande områden kan i många fall fördröja och förhindra vatten från att nå sårbara områden. Ibland kan det också vara lämpligt med åtgärder som ger ökad avledning via utpekade avrinningsvägar. För en effektiv hantering av skyfall är det viktigt att åtgärdsarbetet sker ur ett avrinningsområdesperspektiv där de naturgivna förutsättningarna används för en optimerad markanvändning.

En strukturplan för vatten är en balanserad avvägning mellan volymkrav för fördröjning och avledning inom delområden. Dessa volymkrav kan ses som dimensioneringsförutsättningar för olika typåtgärder i det fortsatta praktiska åtgärdsarbetet. Strukturplanen kan också inkludera en plan för hantering av andra översvämningssrisker som höga nivåer och flöden i vattendrag.

Resultaten från föreliggande utredning kan användas som underlag till översikts- och detaljplaner, för att hitta lämplig placering av ny bebyggelse och identifiering av ytor som behöver reserveras för hantering av skyfall. Det är viktigt att komma ihåg att en exploatering medför en förändring av marknivåer och infiltrationsförmåga. Den framtagna modellen för skyfallskarteringen kan användas för att simulera planerade markomställningar och exploateringar, och på så sätt undersöka hur översvämningssituationen förändras.

Genom att göra justeringar i modellen som tagits fram vid skyfallskarteringen kan effekten av olika åtgärder simuleras mer i detalj. Konsekvenserna kan analyseras på nytt utifrån nya beräknade vattendjup och effekten av åtgärden kan sedan vägas mot kostnaden.

Beredskapsplanering

Inom områden med allvarliga konsekvenser vid skyfall, t.ex. översvämning av viktiga transportleder eller samhällsviktig verksamhet, där stora skador och risker för människor kan uppstå, bör riskreducerande åtgärder planeras. Det kan handla om åtgärder i terrängen för att mildra översvämningen eller kanske rent av att på sikt flytta aktuell verksamhet. Oavsett detta bör det finnas en beredskap för att hantera konsekvenserna innan permanenta åtgärder genomförts. Resultaten från föreliggande utredning, kompletterat med en konsekvensanalys enligt ovan, utgör ett underlag för beredskapsplaner.

6 Leverans

I Tabell 6-1 beskrivs vilka rasterlager som ingår i leveransen för skyfallskartering Uppsala.

Tabell 6-1. Beskrivning av ingående rasterlager vid leverans.

Rasterlager	Beskrivning
Uppsala_100Y_kf1_3_Maxdjup.tif	Visar beräknad översvämningssituation vid ett klimatanpassat 100-årsregn. Vattendjup redovisas i (m)
Uppsala_100Y_kf1_3_Maxflux.tif	Visar beräknade ytvattenflöden vid ett klimatanpassat 100-årsregn. Flöden redovisas i (l/s/m).
Uppsala_100Y_kf1_3_Flödesriktning.tif	Visar beräknad flödesriktning vid ett klimatanpassat 100-årsregn i områden där ytvattenflödet överstiger 2 l/s/m. Flödesriktning redovisas som pilar översatta från grader.
Uppsala_2018_Maxdjup.tif	Visar beräknad översvämningssituation vid regnet i Uppsala 2018. Vattendjup redovisas i (m)
Uppsala_2018_Maxflux.tif	Visar beräknade ytvattenflöden vid regnet i Uppsala 2018. Flöden redovisas i (l/s/m).
Uppsala_2018_Flödesriktning.tif	Visar beräknad flödesriktning vid regnet i Uppsala 2018 i områden där ytvattenflödet överstiger 2 l/s/m. Flödesriktning redovisas som pilar översatta från grader.

7 Referenser

- /1/ Mårtensson E, Gustafsson L-G (2017). Vägledning för skyfallskartering – Tips för genomförande och exempel på användning. MSB1121, augusti 2017.

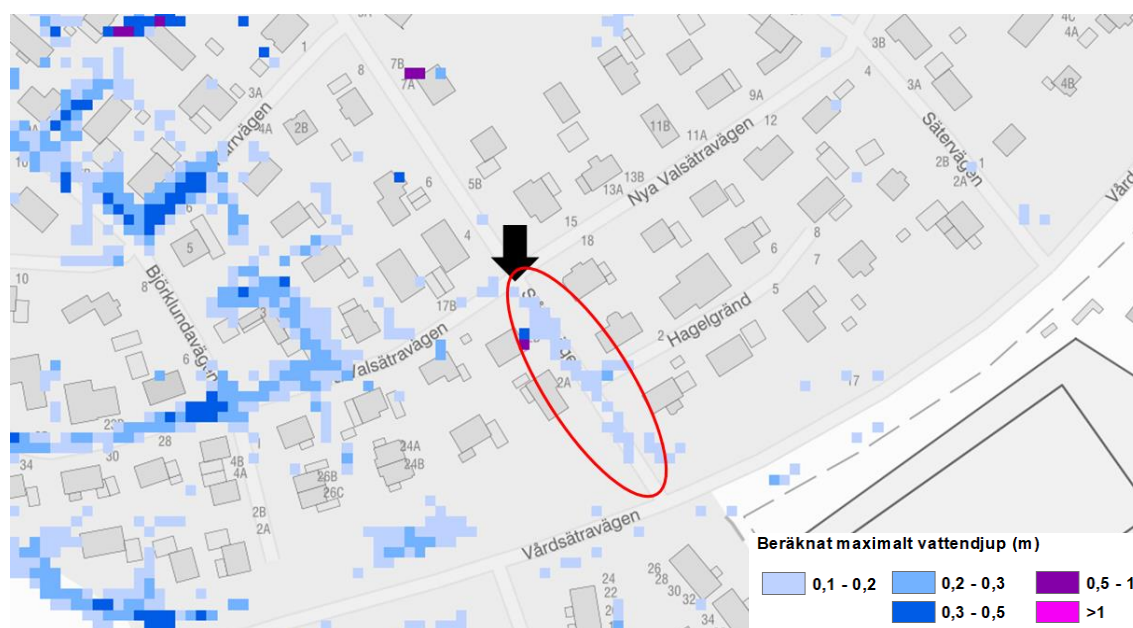
BILAGOR

BILAGA A – Uppsalaregnet 2018

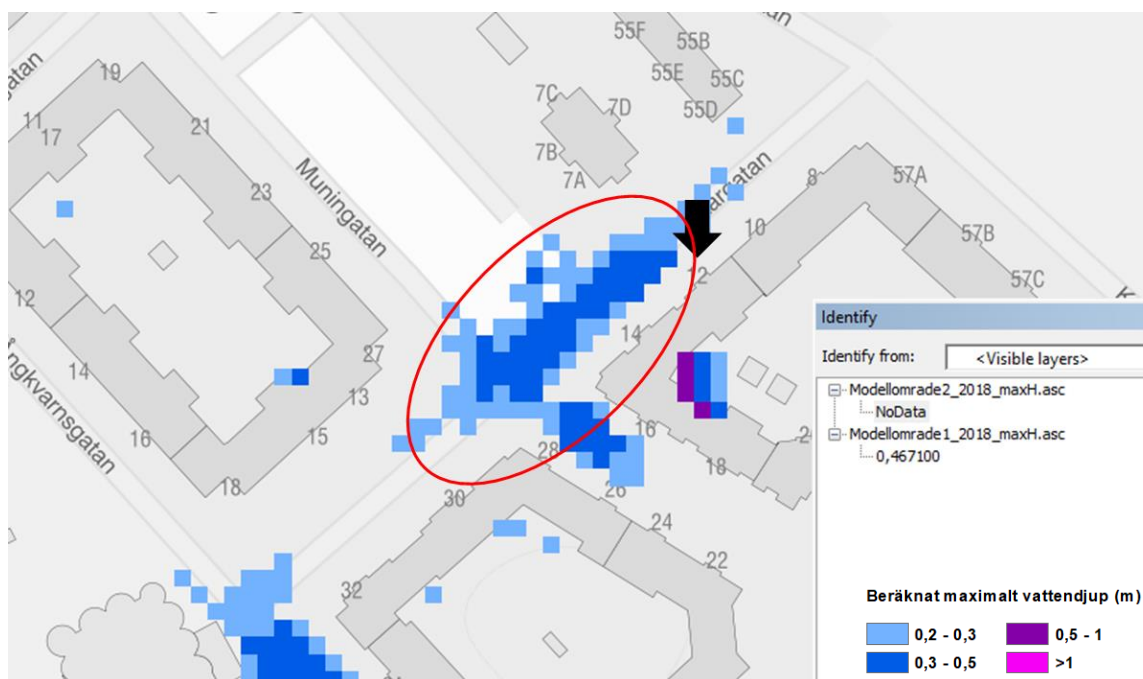
Jämförelse av modellresultat med observationer

Nedan visas bilder med observationer från regnet 29 juli 2018 samt beräknad översvämningsutbredning och djup på platsen. I figuren för de beräknade resultaten markeras platsen varifrån bilden är tagen med svart pil.

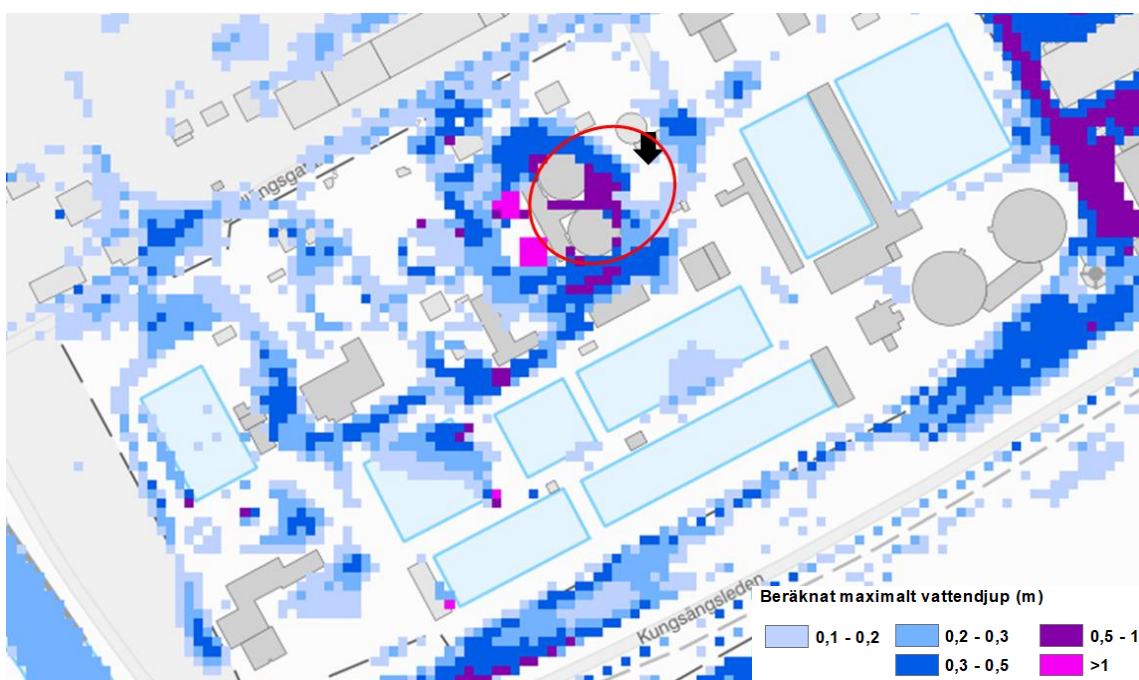
Nya Valsätravägen

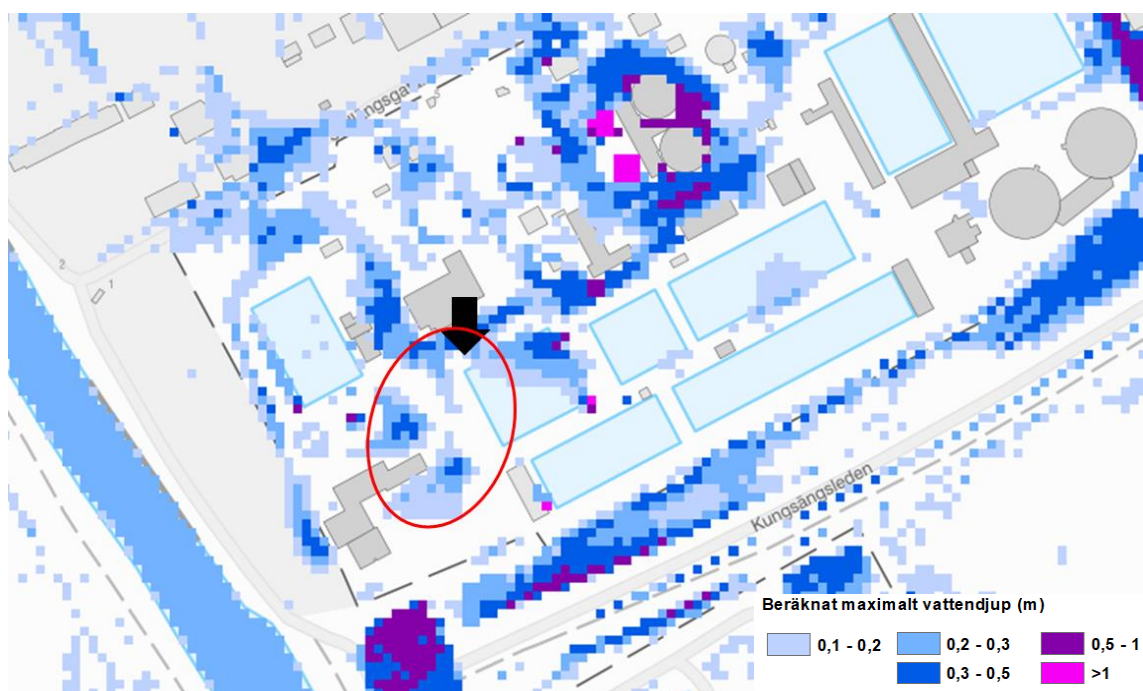


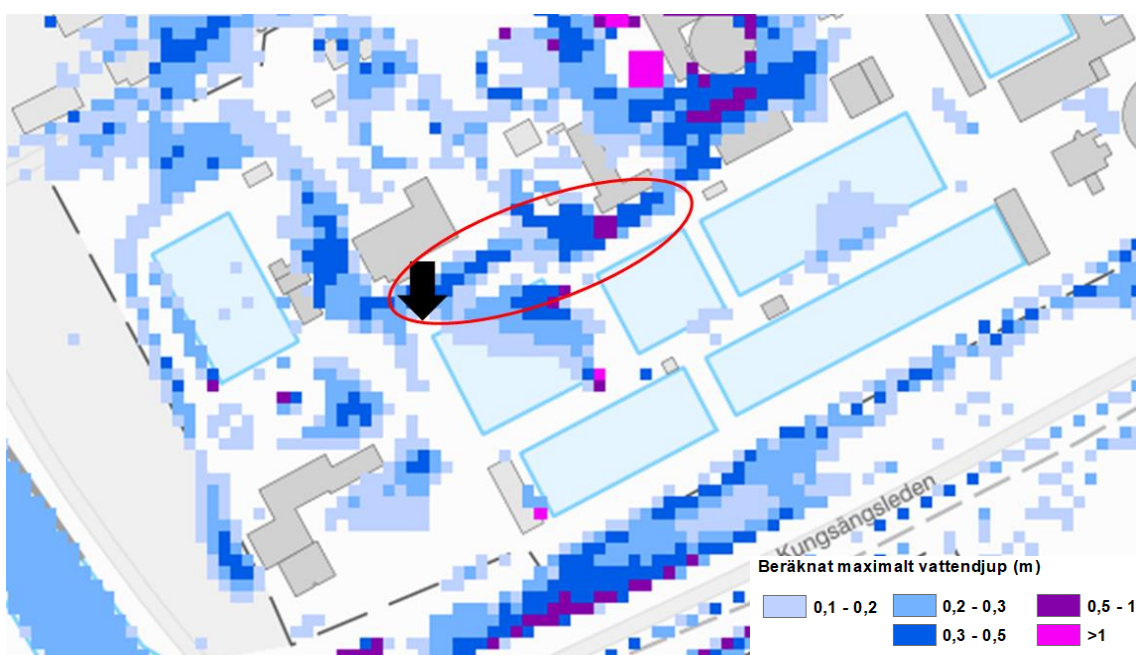
Siktargatan

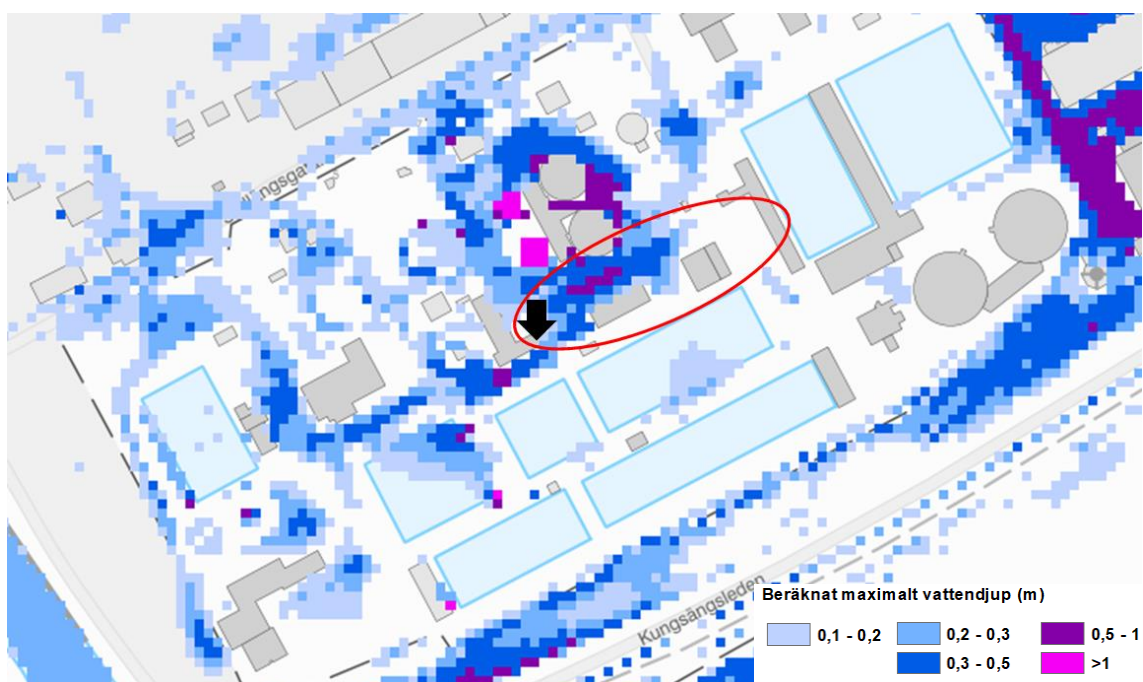


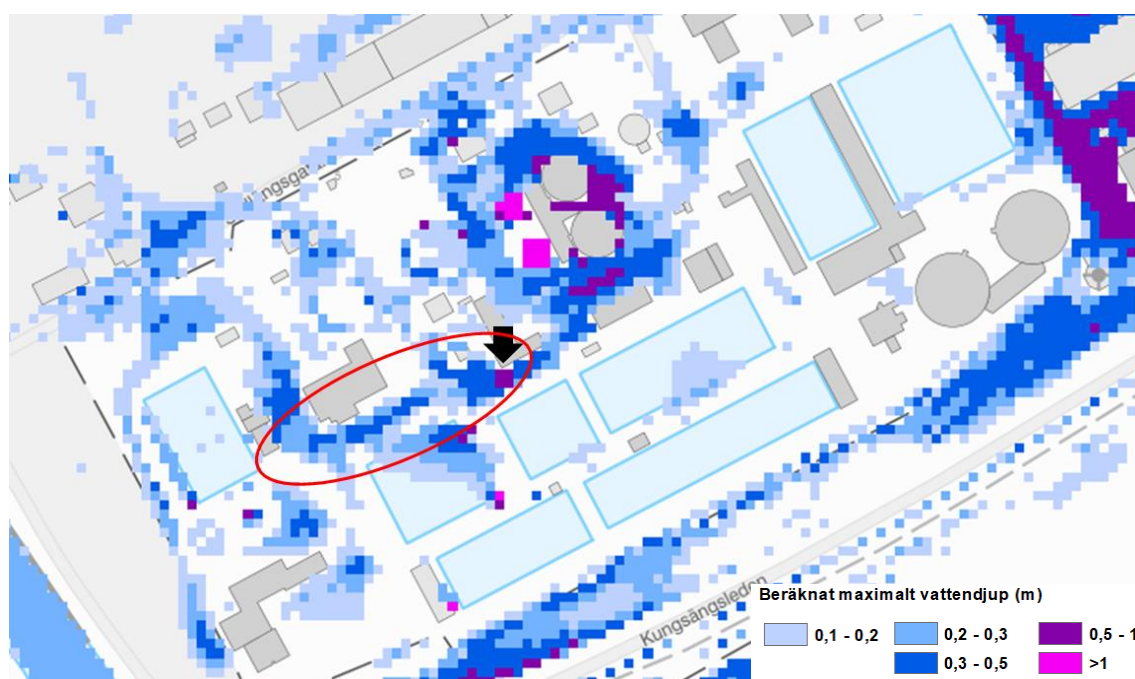
Kungsängsverket



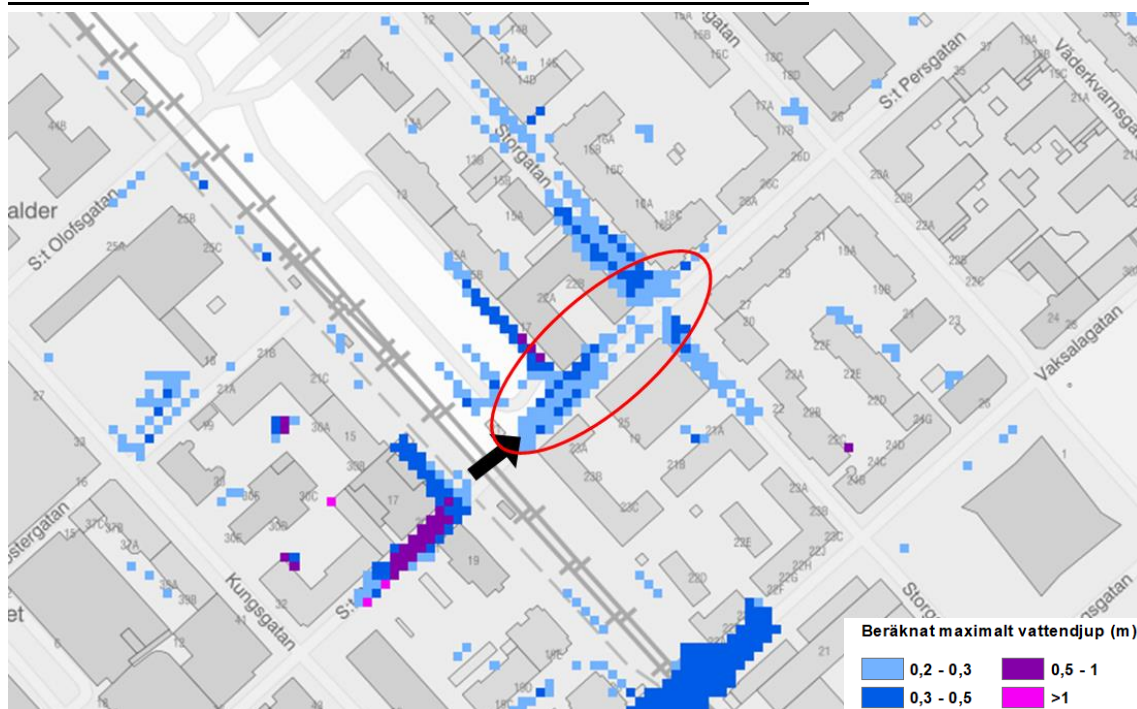




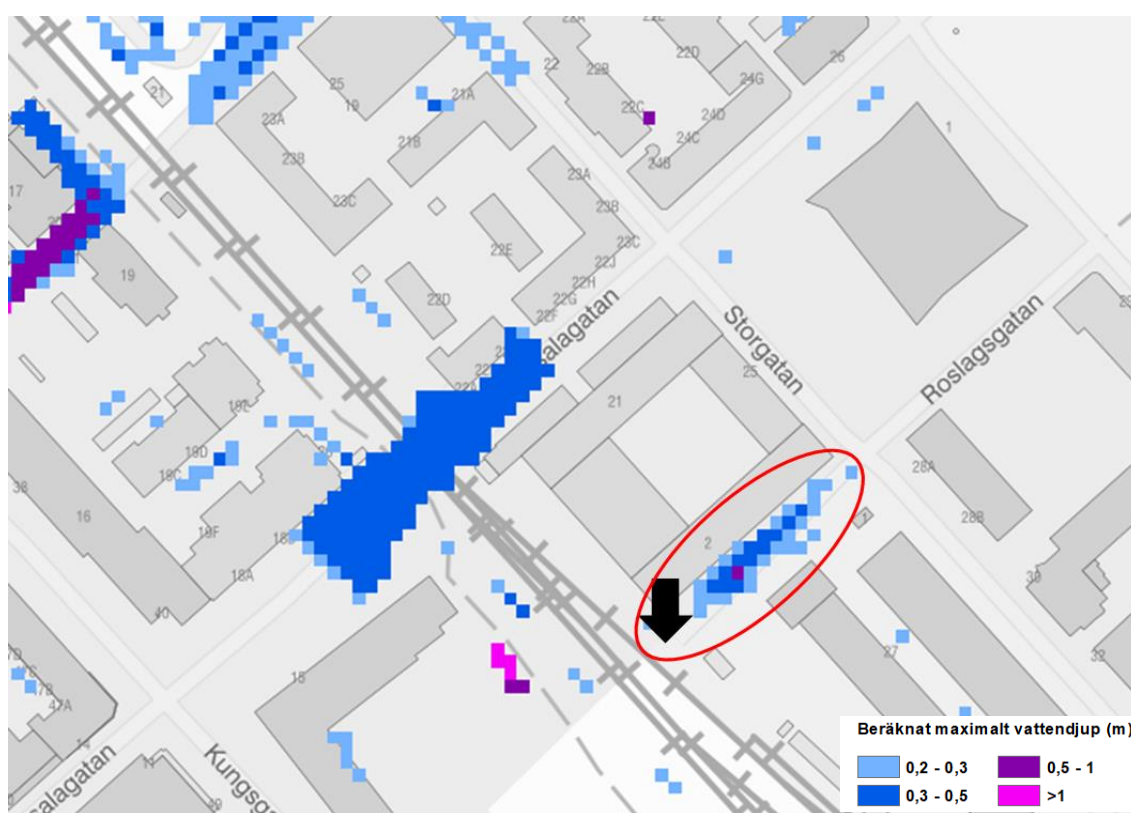




S:t Persgatan



Roslagsgatan



Gamla Uppsalagatan/Tycho Hedéns väg

