

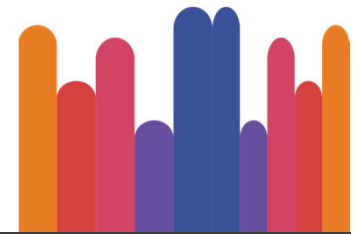
EU-projekt Clarity Skyfallsmodellering i City



Clarity – introduktion om projektet



- EU-projekt, Horizon-2020, 17 partners från fem länder
- IT-baserat **beslutsstöd** för att
 - Identifiera riskerna med intensiv nederbörd och värmeböljor
 - Analysera effektiviteten för olika klimatanpassningsåtgärder
- Stockholm slutanvändare - SLB, Miljöanalys, Plan och Miljö
- Stockholm fokuserat på utveckling/presentation av
 - Grönytefaktorn (bl a hur luftföroreningshalter påverkas)
 - Mildra effekt av värmeböljor
 - Skyfallshantering



Clarity – översikt

Integrated Climate Adaption Tools for Improving Resilience Measure Efficiency
<https://myclimateservices.eu/>



Clarity

- 5 länder
- 5 slutanvändare

Stockholm: Värme, skyfall
Jönköping: Skyfall

Linz: Värme, skyfall

Spanien: Klimatpåverkan på vägar o järnvägar

Neapel: Värme, skyfall



De svenska fallstudierna i Clarityprojektet



Stockholm



- Stockholm kommer att expandera kraftigt i framtiden
- Hur kan man planera staden för framtidens invånare?
- Framtida möjliga problem:
 - Värmebölja
 - Skyfall och översvämning
 - Luftförorening
- Hur kan man använda grön infrastruktur för klimatanpassning?
- **SMHI, WSP, Stockholms Stad**

Jönköping



- Har redan nu problem med översvämningar
- Hur kan man uppskatta de kombinerade förändringarna från:
 - Skyfall
 - Höga flöden i vattendrag
 - Vättern
- Riskanalys
- Utvärdering av åtgärder
- SMHI, WSP, Länsstyrelsen Jönköping

Vad är egentligen ett skyfall?

När en större mängd nederbörd faller på kort tid brukar det kallas för ett skyfall, eftersom regnet upplevs som häftigt och kraftigt.

SMHI:s definition av skyfall är minst 50 mm på en timme eller minst 1 mm på en minut.

Skyfall som uppfyller SMHI:s första definition är relativt ovanliga, därför används ibland även definitionen minst 15 mm regn på 15 min.

Nästan alla skyfall inträffar **sommartid**, främst juli och augusti, och oftast i samband med åskväder.

Hur mycket regnar det i Stockholm?

Några resultat från övervakningen av klimatförändringar

<http://miljobarometern.stockholm.se/klimat/klimat-och-vaderstatistik/>



Nederbördsindikatorer

SLB-analys på Miljöförvaltningen har analyserat nederbördsdata för Stockholm, utgör underlag för klimatindikatorer på Miljöbarometern.

Tio indikatorer för regn, snö och torka

- Årsnederbörd
- Nederbördsdagar
- Säsongsnederbörd
- Maximal dygnsnederbörd
- Kraftig dygnsnederbörd (>10 mm)
- 7-dygnsnederbörd
- Torra dygn
- Torrperiod
- Snötäcke (antal dagar)
- Snödjup

Data kommer huvudsakligen från SMHIs mätstation i Observatorielunden.

Samtliga indikatorer redovisas på Miljöbarometern:
<http://miljobarometern.stockholm.se/klimat/klimat-och-vaderstatistik/>

Klimatindikatorer för nederbörd i Stockholm

Underlag till Miljöförvaltningens övervakning av
klimatförändringar och dess effekter

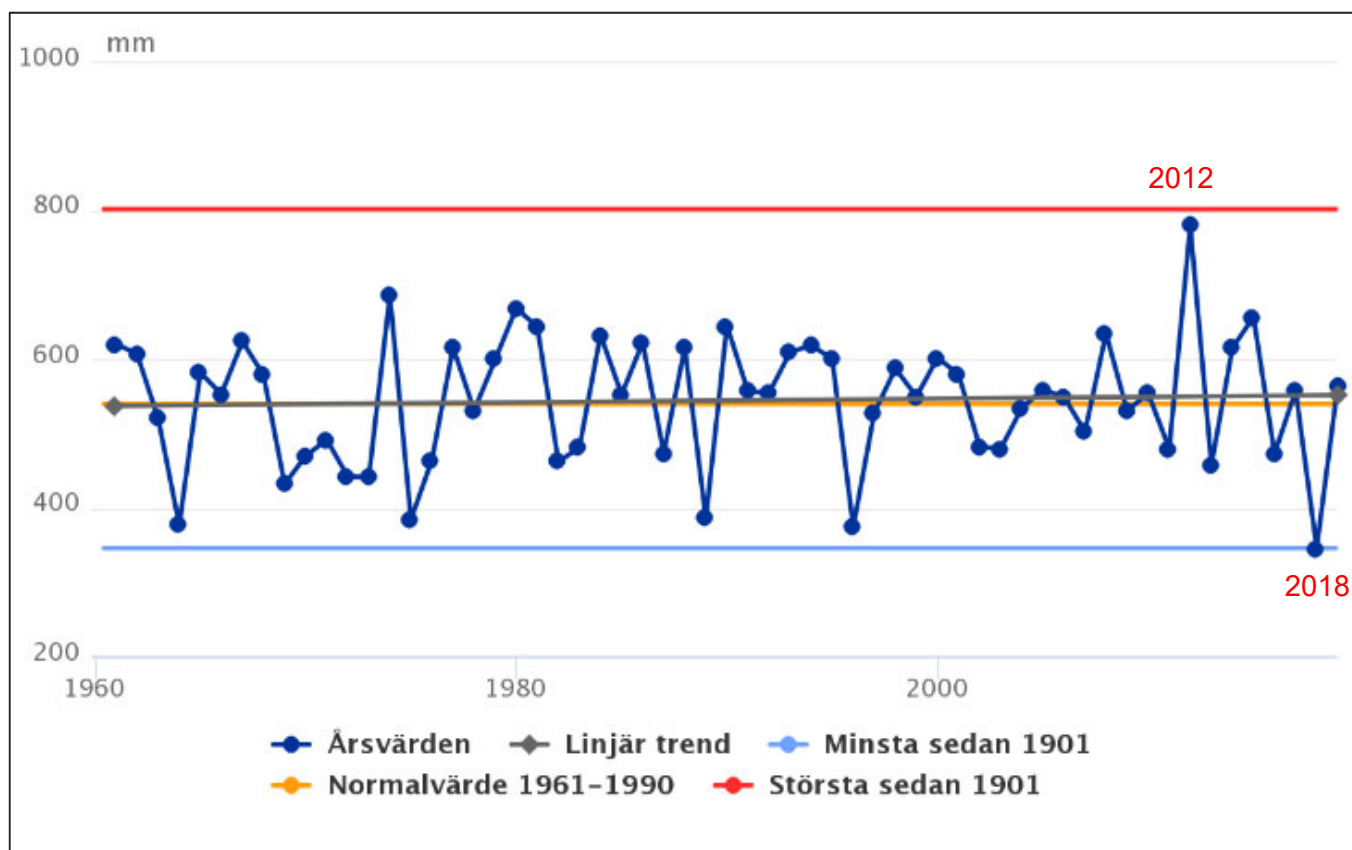


Jennie Hurkmans

Utfört på uppdrag av Avdelningen för Miljöanalys,
Miljöförvaltningen, Stockholms Stad

Årsnederbörd i Stockholm

SMHIs mätstation vid Observatorielunden, 1961-2019

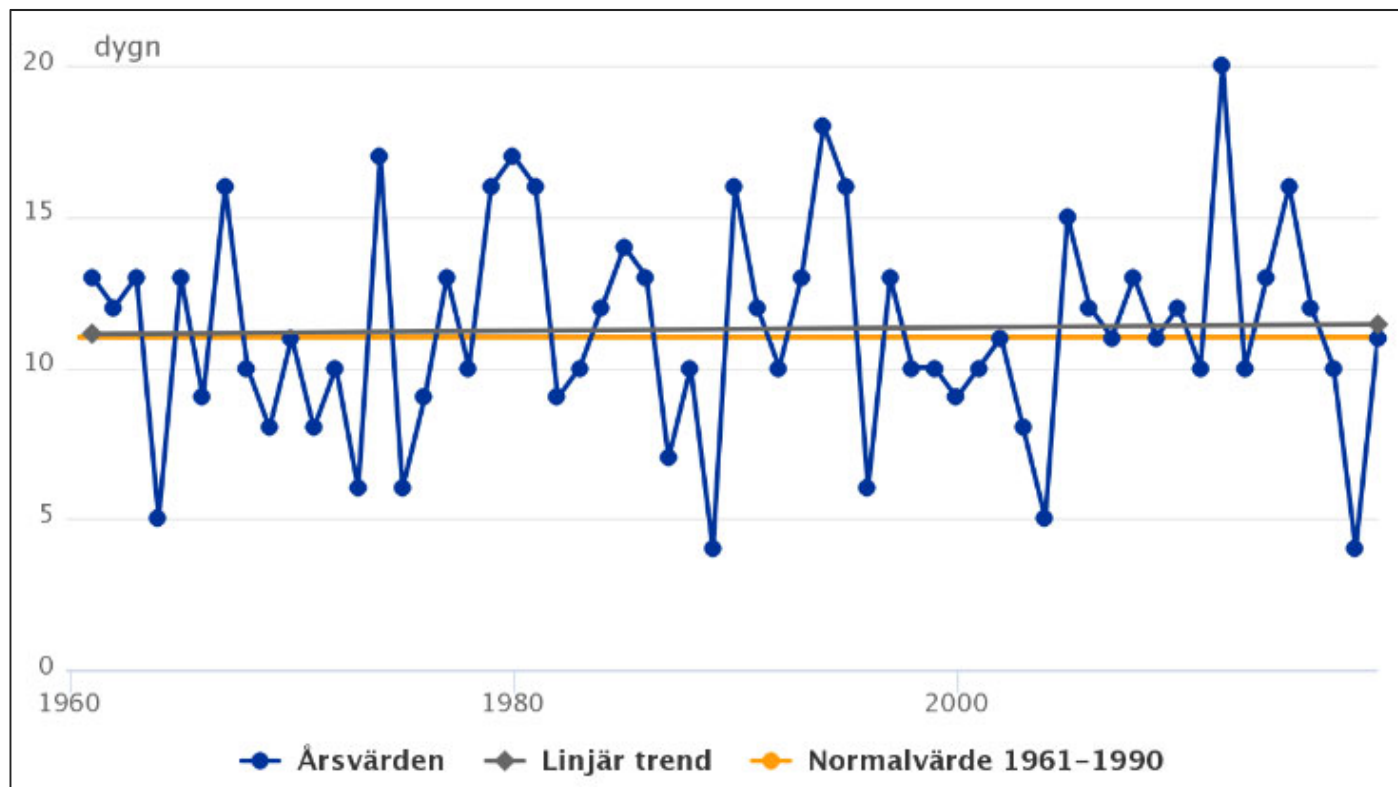


Definitionen på nederbörd är att det uppmätts minst 0,1 mm på ett dygn. Högsta uppmätta årsnederbörd är 801 mm, lägsta är 345 mm. Det kan vara stora variationer från år till år.

Medelvärdet för referensperioden 1961-1990 var **539 mm**. För efterföljande period 1991-2019 var det 548 mm, en ökning med ca 2 %.

Antal dagar per år med mer än 10 mm nederbörd

SMHIs mätstation vid Observatorielunden, 1961-2019

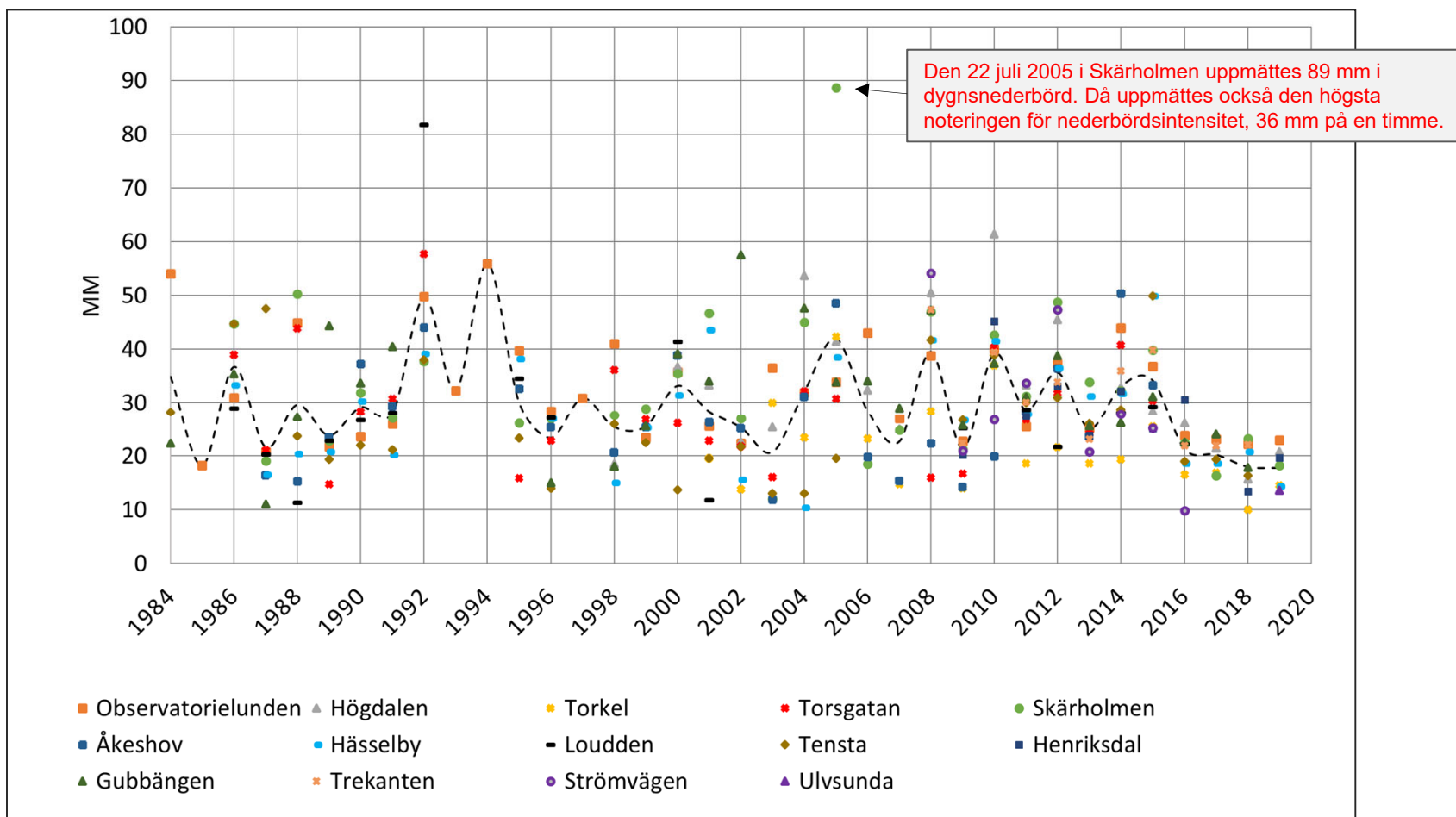


Medelvärdet för referensperioden 1961-1990 var 11 dygn per år med **>10 mm** nederbörd. Detta brukar benämnas "Kraftig dygnsnederbörd". Trendlinjen visar en svag ökning.

Antal dygn med **>40 mm** nederbörd: detta har endast inträffat tio gånger sedan 1961 vid Observatorielunden.

Årets största dygnsnederbörd, samtliga mätstationer 1984-2019

SMHI: Observatorielunden, SLB-analys: Högdalen och Torkel, Stockholm Vatten och Avfall: övriga mätstationer



Det gemensamma medelvärdet för alla mätstationer respektive år är markerat med **svart streckad linje**. För vissa år finns endast data från Observatorielunden. OBS, årsmax kan inträffa olika dygn för olika mätstationer.



Medelvärdet för hela perioden 1984-2019 ligger på **ca 30 mm per år** i maximal dygnsnederbörd. Förändringarna över tiden uppvisar inte någon tydlig trend. Observatorielunden visar ökning med ca 8 % sedan 1961.

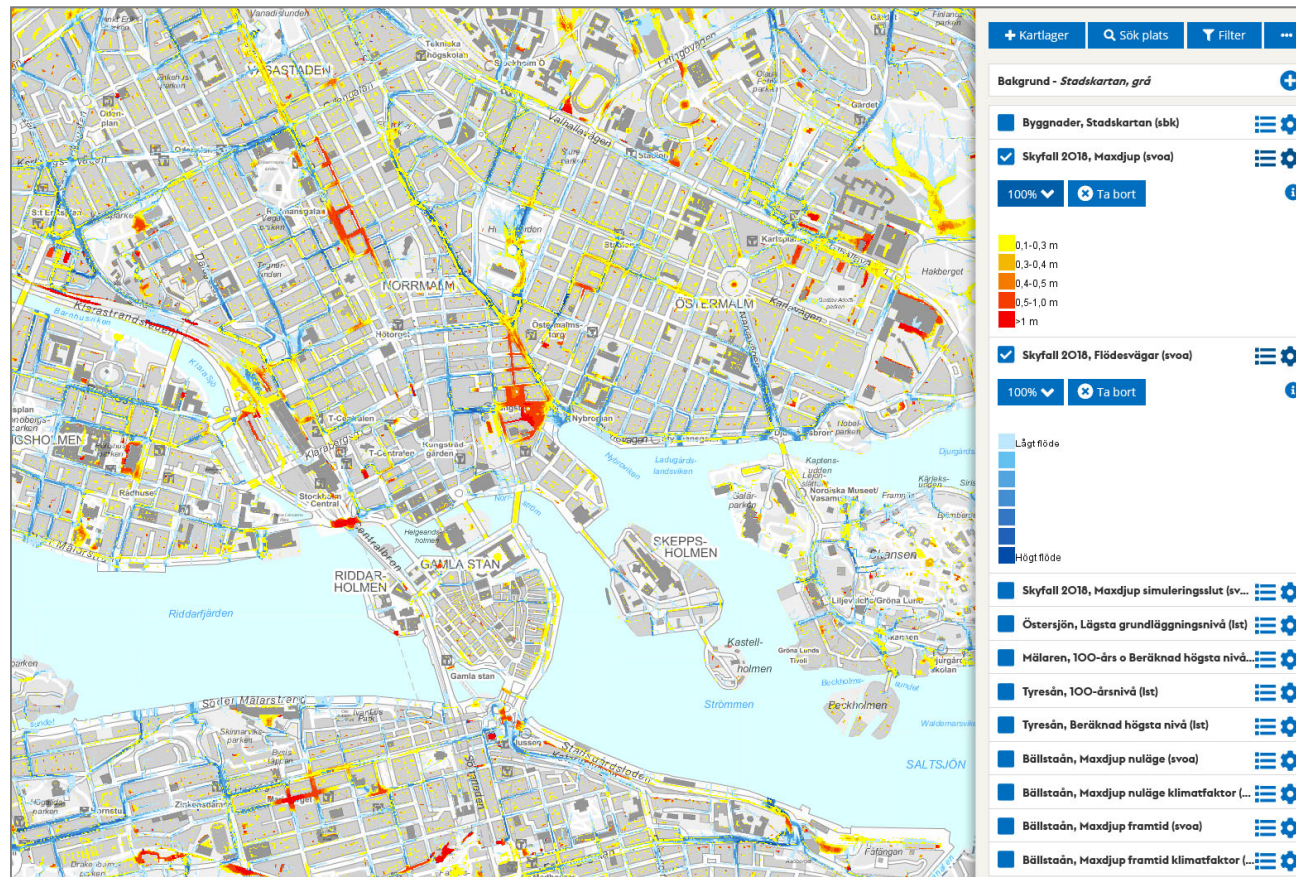
Hur kan nederbörden förändras i framtiden?

Enligt SMHI:s regionala klimatanalys för Stockholms län från 2015

- Ett varmare klimat medför att avdunstningen av vatten ökar från sjöar och hav.
- Atmosfären kommer då att innehålla mer vattenånga vilket leder till ökade nederbördsmängder.
- Årsnederbörden bedöms öka med 20-30 procent till år 2100. Nederbörden bedöms öka mest under vinter och vår. Ganska stor osäkerhet, pga stor spridning mellan olika modeller!
- De extrema skyfallen beräknas också bli vanligare. Den maximala dygnsnederbörden beräknas öka med 20-30 procent.
- Enligt SMHI visar nya körningar av klimatmodeller att framtida skyfall kan bli ännu kraftigare än vad som redovisas i rapporten från 2015.



Stockholm stads skyfallsmodell



Utsnitt ur skyfallsmodellens kartsnitt, från miljöförvaltningens webbplats Miljödata.

Den första skyfallsmodellen togs fram 2015, uppdaterades med ny metodik under 2018. Modellen visar vattenflöden och vattendjup vid ett 100-årsregn med klimatfaktor 1,25.



Skyfallsmodellen förvaltas sedan hösten 2020 av Trafikkontoret, som en del av Tk:s ansvar att samordna stadens skyfallshantering.

Syfte med Stockholms skyfallsmodell

- Få en övergripande bild av sårbarheten vid skyfall.
- Visa var i staden som översvämningsrisker kan finnas.
- **Visa var fördjupade, detaljerade utredningar kan behövas.**
- Utgöra underlag till stadens fortsatta klimatanpassningsarbete.



Vad innebär ett 100-års-regn?

Tabell 1 Exempel på regn av den storlek som skyfallsmodelleringen avser att täcka (100-årsregn år 2100).

Varaktighet	Regndjup
15 minuter	44 mm
30 minuter	56 mm
1 timme	68 mm
2 timmar	82 mm
4 timmar	96 mm
8 timmar	113 mm

SMHIs definition av skyfall är minst 50 mm på en timme, eller minst 1 mm/minut under en viss tidsperiod.

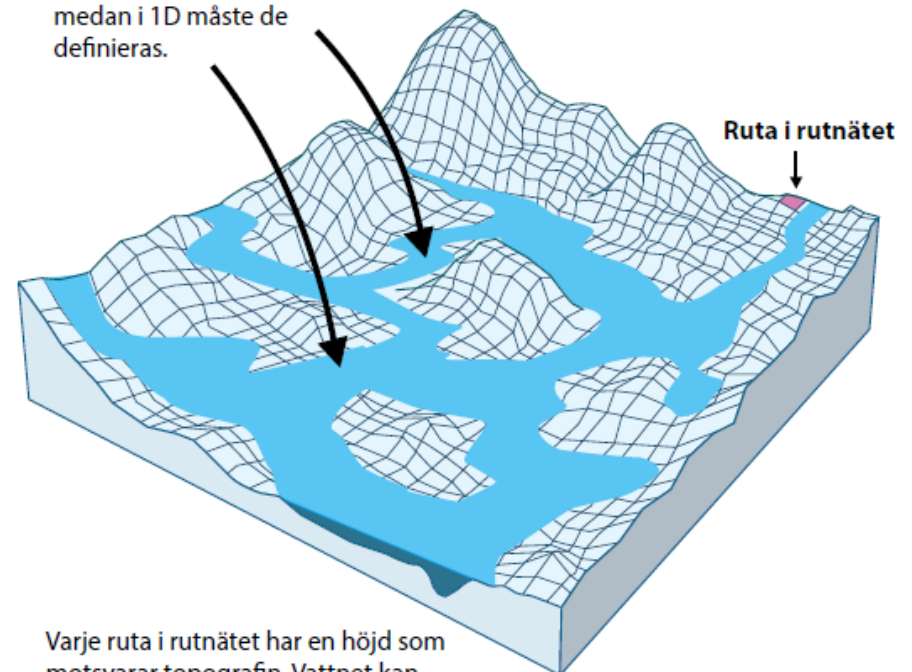
Hydraulisk ytavrinningsmodell, MIKE 21

- Hydraulisk ytavrinningsmodell, MIKE 21, som utvecklats av DHI.
- 2D-modell som utgår från en höjdsatt markyta över vilken nederbörd tillförs i önskad mängd.
- Modellen simulerar regnvattnets avrinning ner mot markytans lågpunkter.
- Resultaten presenteras på kartor som visar vattnets utbredning på markytan, vattendjup, vattenflöde och vattenhastighet.

Två dimensioner – 2D

Vattnet hittar sin egen väg. Det kan liknas vid effekten av att hälla vatten på ett tillknycklat papper.

Observera att vattnet hittar nya flödesvägar som skiljer sig från hur vattendraget går. 2D-modeller hittar dessa nya vägar själv medan i 1D måste de definieras.

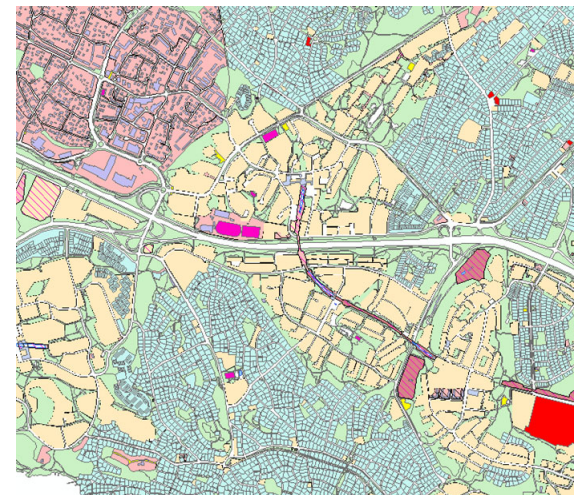
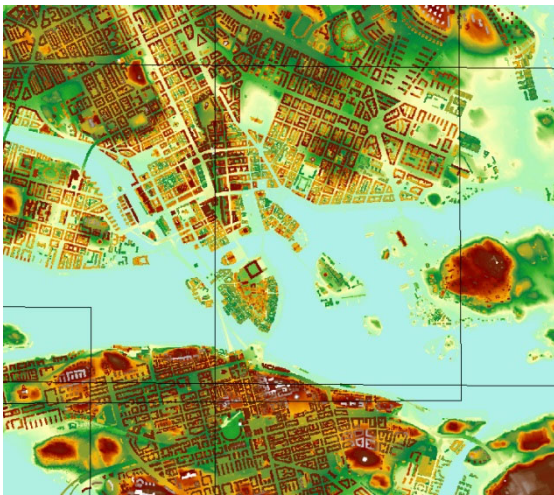


Varje ruta i rutnätet har en höjd som motsvarar topografien. Vattnet kan strömma från hög nivå till låg nivå.

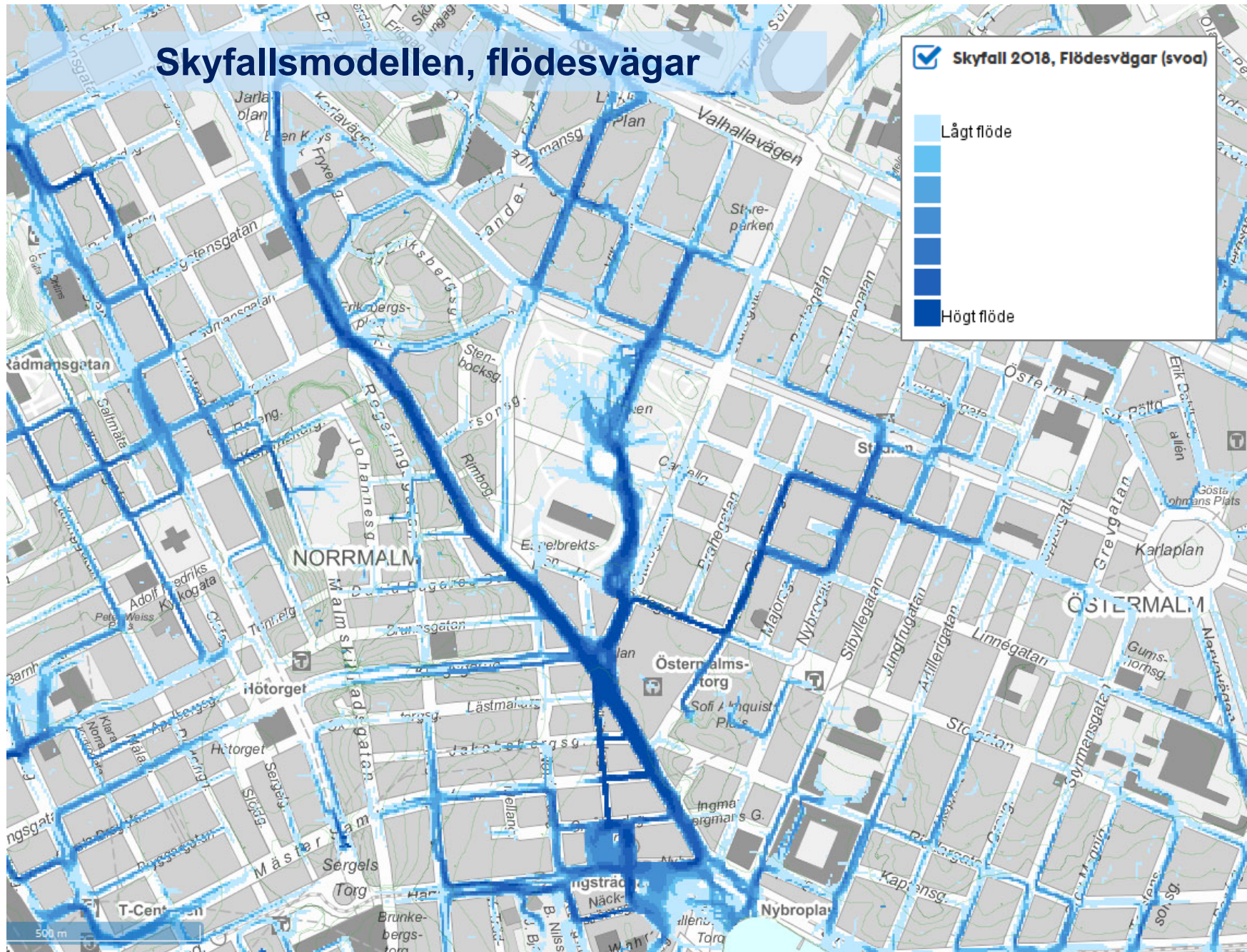
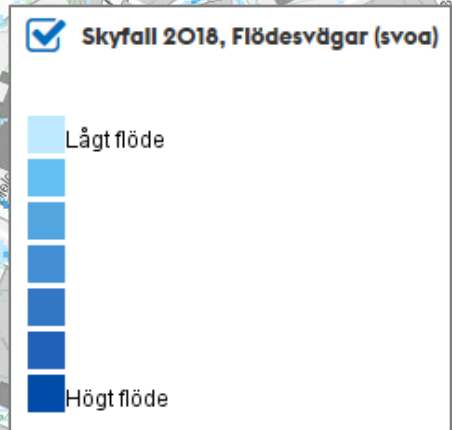
Underlag för skyfallsmodellen

Följande underlag har använts:

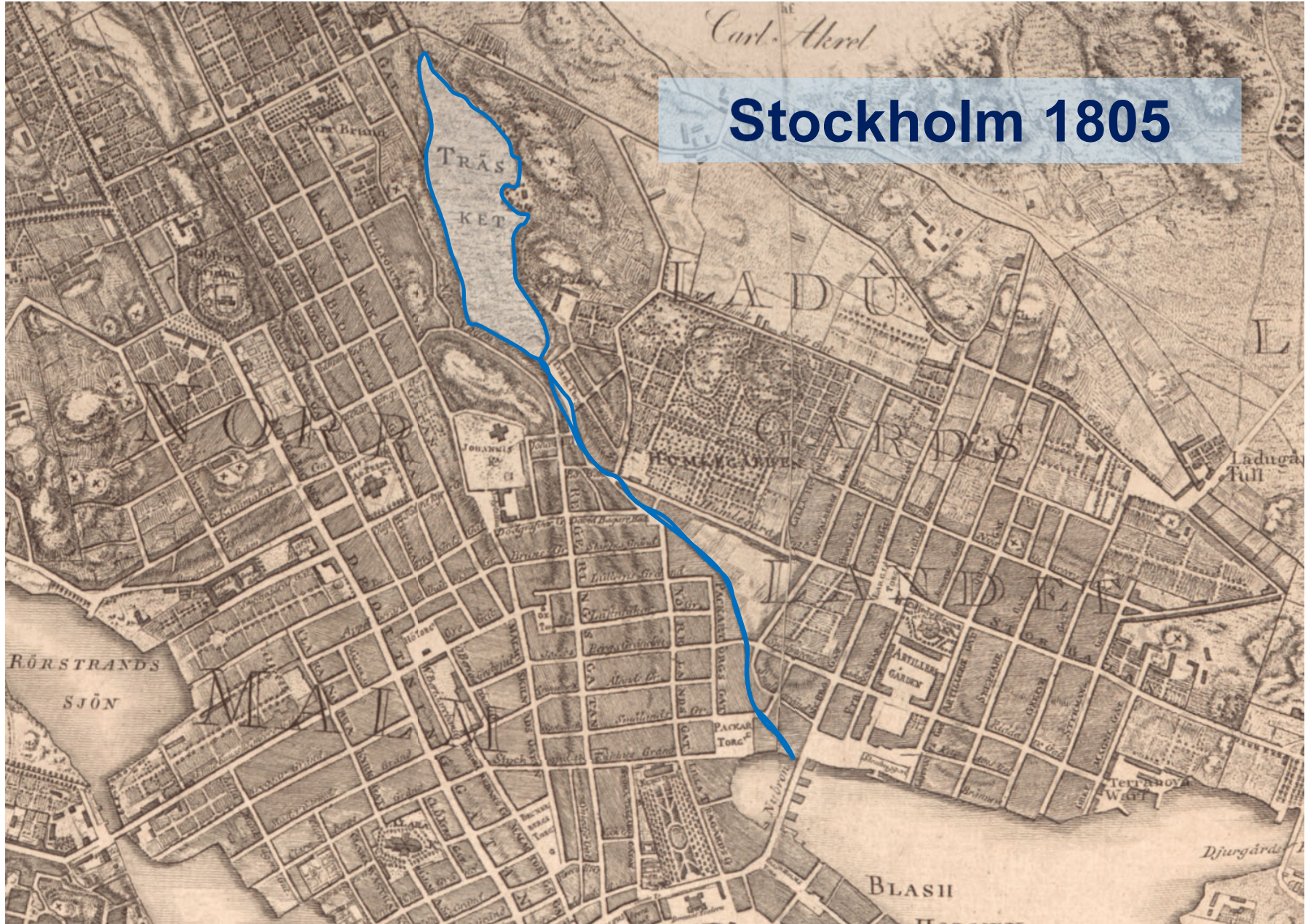
- Höjddata från laserskanning för Stockholms stad
(*hög noggrannhet: bättre än 9 cm för hårdgjorda ytor, för övriga ytor 15 cm*)
- NNH-data (Lantmäteriet) utanför gränsen för Stockholms stad
- Stadskartan för Stockholms stad
- Ortofoton över Stockholms stad



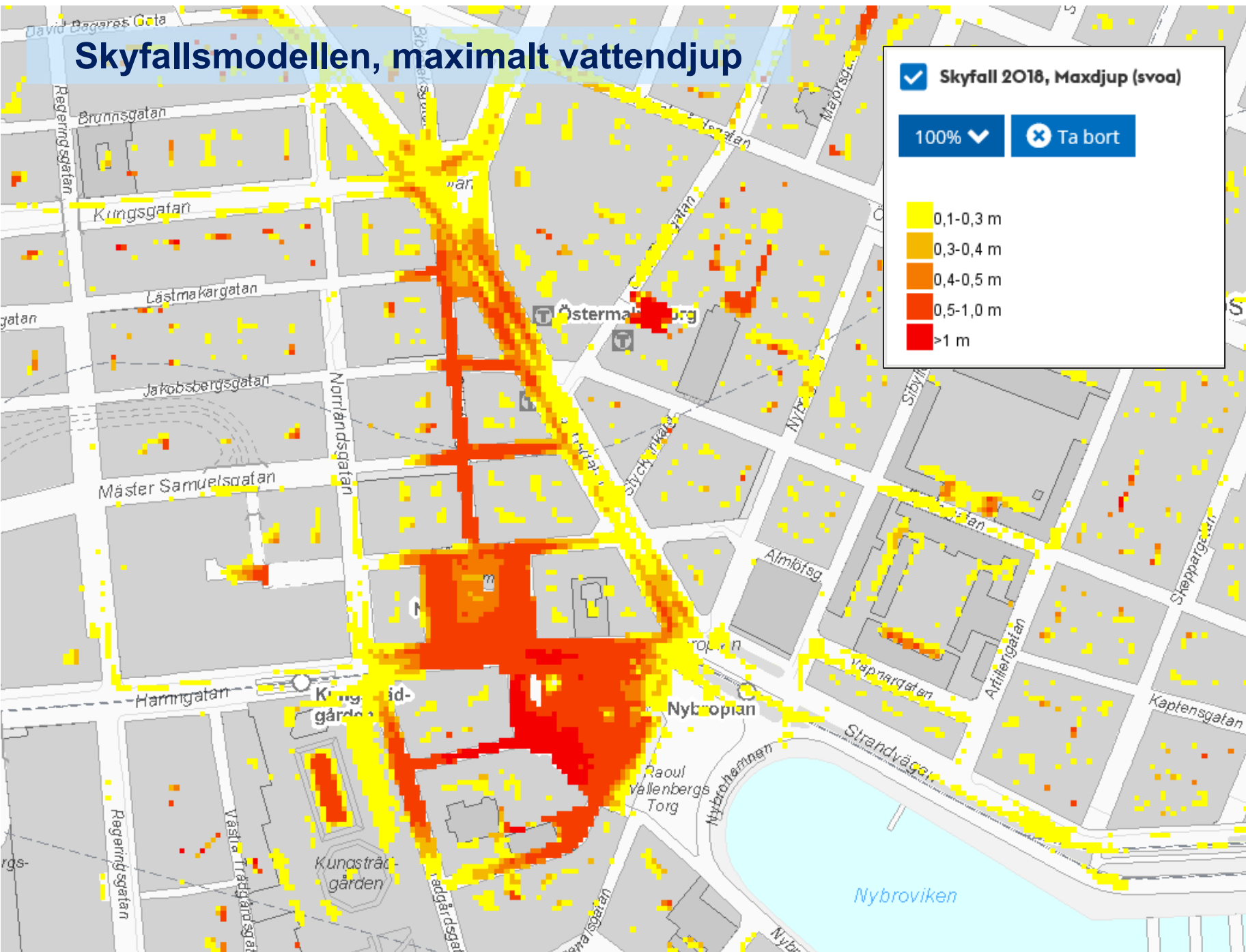
Skyfallsmodellen, flödesvägar



Stockholm 1805



Skyfallsmodellen, maximalt vattendjup



CLARITY pilotprojekt skyfallshantering i City

Metod och genomförande

1. Val av område för pilotstudie:
Birger Jarlsgatan – Humlegården – Norrmalmstorg – Berzelii park
2. Ny högupplöst skyfallsmodellering i MIKE 21 (1 x 1 m)
3. Identifikation av potentiella skyfallsåtgärder på markytan (plats och utformning) – tillsammans med referensgrupp
4. Testa effekt av åtgärder i programmet SCALGO (GIS-analys)
5. Ny modellering med skyfallsåtgärder inlagda, analys av deras effekt på flöden, vattenutbredning och vattendjup.
6. Förslag till fortsatt arbete, fördjupade analyser

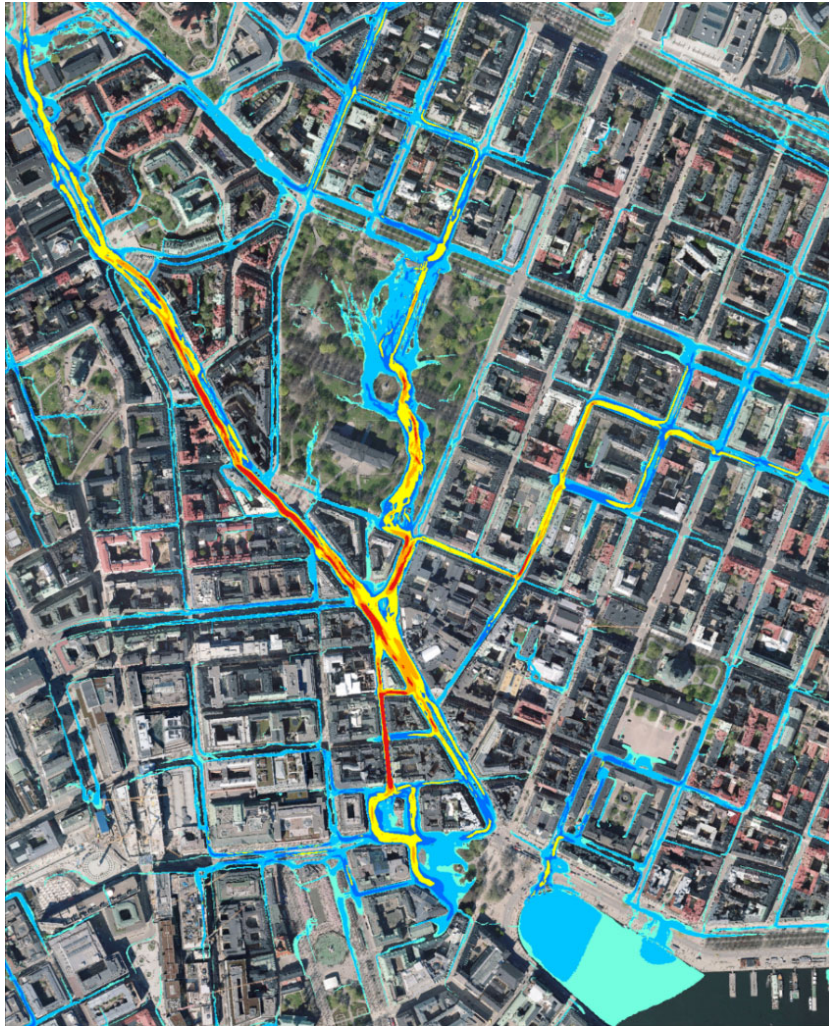
Högupplöst skyfallsmodell för pilotområdet

Modellering i MIKE 21

- CDS-regn med 6 tim varaktighet med klimatfaktor på 1,25
- Avdrag för ledningsnät på hårdgjorda ytor med ett 10-årsregn med klimatfaktor på 1,25
- Terrängmodell med 1×1 m upplösning
- Infiltrationsmodul som beskriver infiltrationen i marken på grönytor
- Lager med markens råhet som differentieras av markanvändning

Högupplöst skyfallsmodellering nuläge

Vattenflöde



Maximalt momentant flöde vid ett 100-årsregn (kf 1,25)

Flöde efter 30min

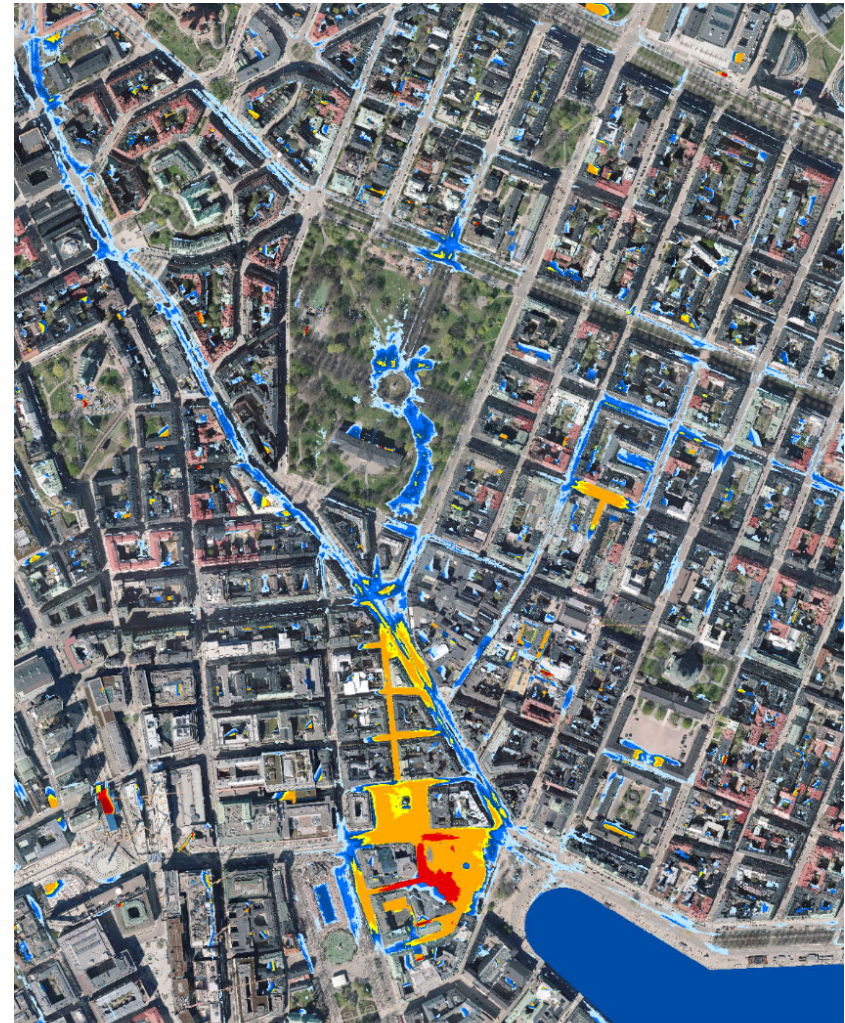
[m³/s]

< 0.005	0.005 - 0.01	0.01 - 0.05	0.05 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.3	> 0.3
---------	--------------	-------------	------------	-----------	-----------	-------

0 150 300 [m]



Max vattendjup



Maximalt vattendjup, 100-årsregn (kf 1,25)

[m]

< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.3	0.3 - 0.4	0.4 - 0.5	0.5 - 1	1.0 - 1.5	> 1.50
-------	-----------	-----------	-----------	-----------	---------	-----------	--------

0 150 300 [m]

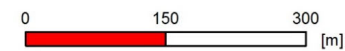
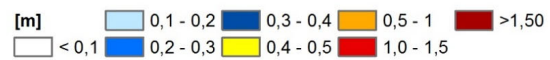


Högupplöst skyfallsmodellering nuläge

Vattendjup vid simuleringslut, visar områden där vatten blir stående, drygt 2 timmar efter att regnet har upphört.

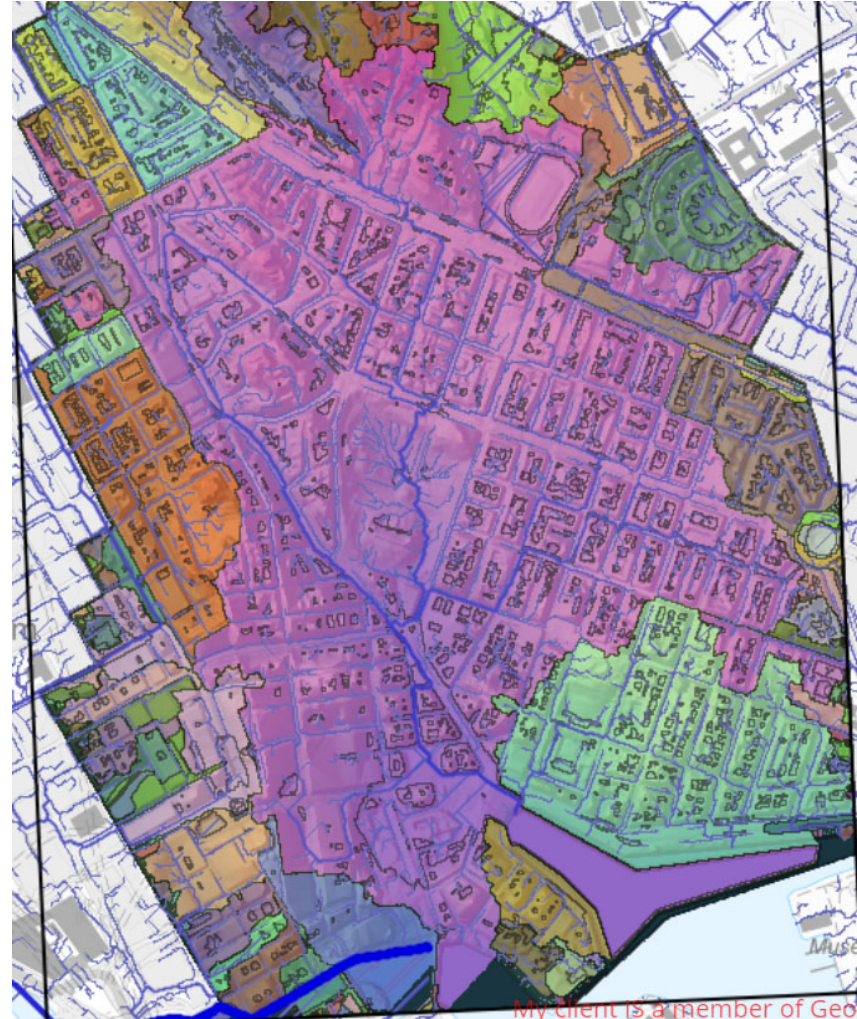


Vattendjup efter 6 h, 100-årsregn (kf 1,25)

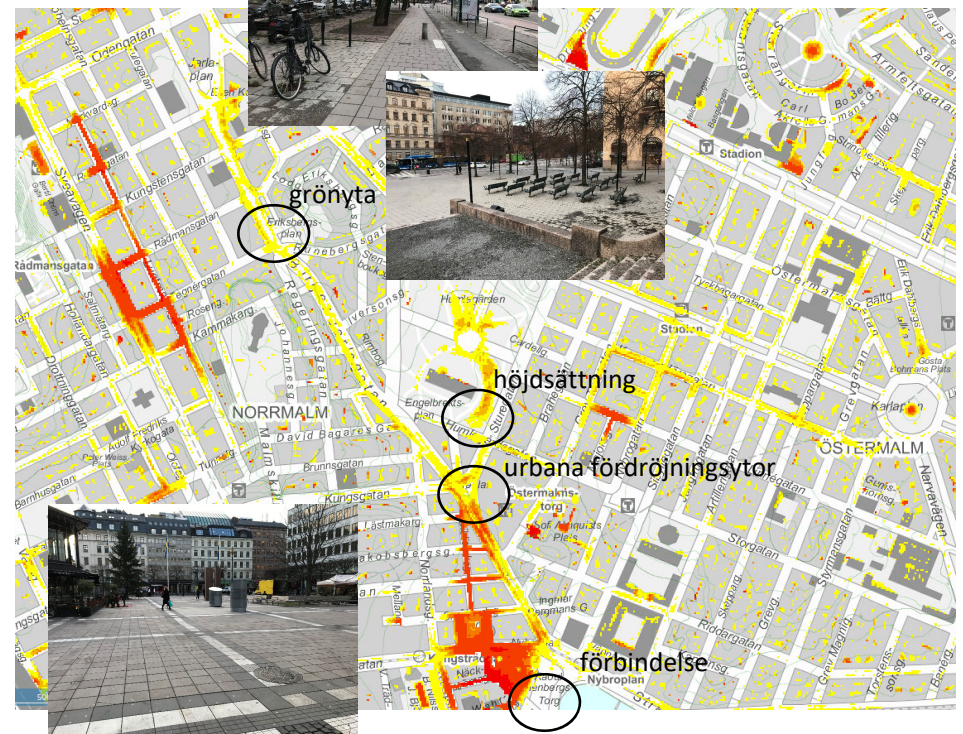


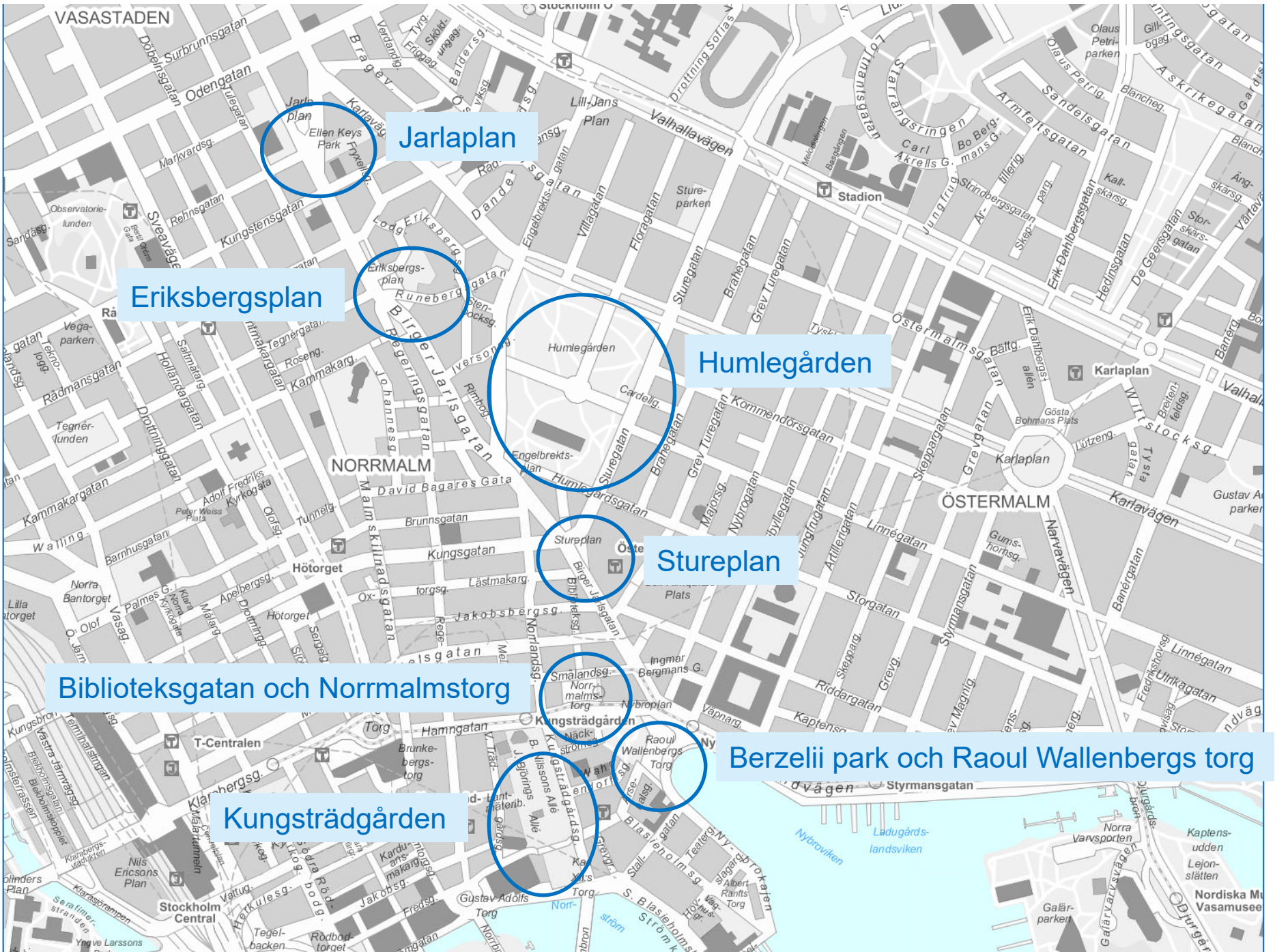
Avrinningsområdet

- Hela det lila området bidrar med ytavrinning enligt SCALGO
- Utloppspunkt vid Nybroplan
- Uppströms area: 1,2 km²



Platsbesök – studera möjliga åtgärder





Jarlplan

Eriksbergsplan

Humlegården

Stureplan

Biblioteksgatan och Normalmstorg

Kungsträdgården

Berzelii park och Raoul Wallenbergs torg

Avrinningsområdet i bilder



Eriksbergplan



Humlegården



Stureplan



Birger Jarlsgatan



Biblioteksgatan



Norrmalmstorg



Berzelii park



Raoul Wallenbergs torg

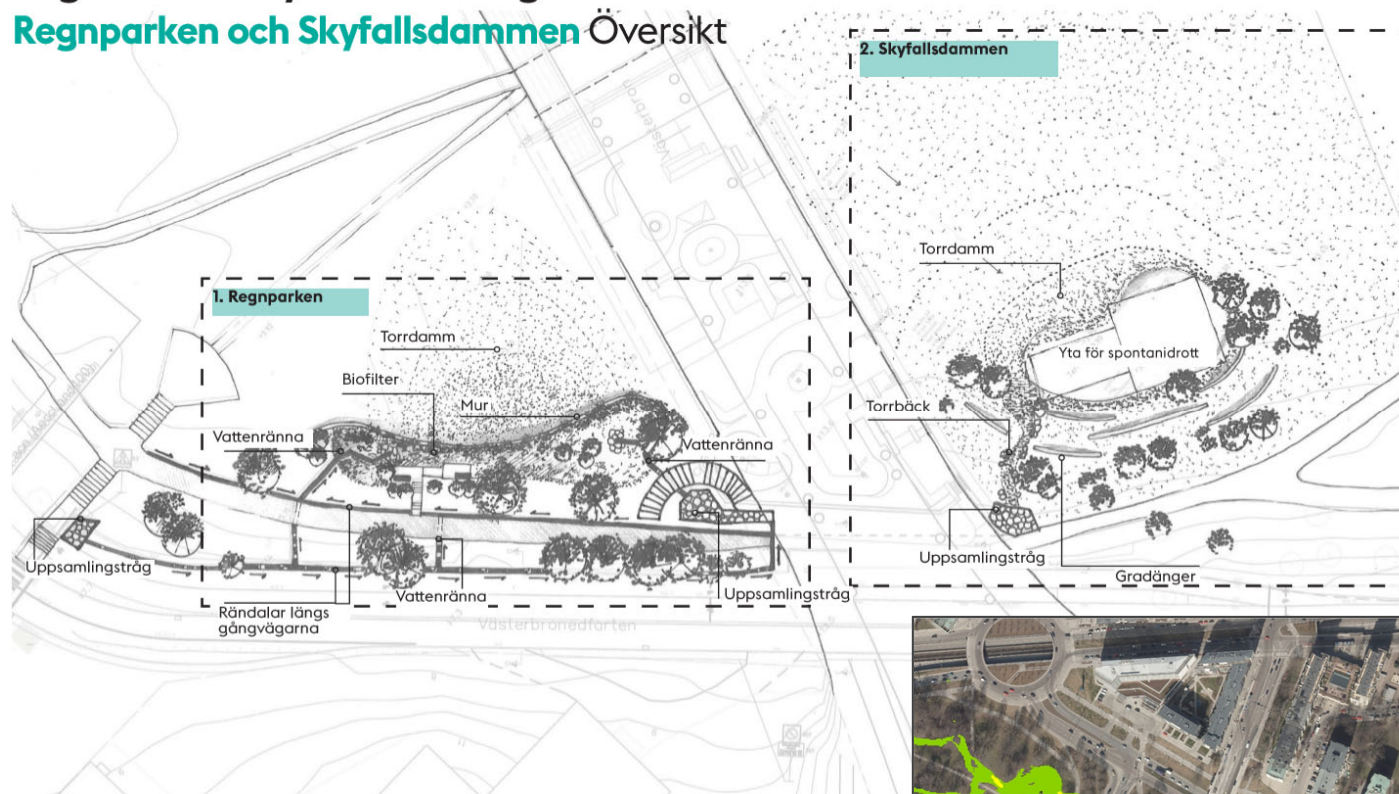
Exempel på skyfallslösningar

Stockholm och Köpenhamn

Råambshovsparken

Åtgärder för dagvatten- & skyfallshantering

Regnparken och Skyfallsdammen Översikt



1:500

Råambshovsparken - Gestaltungsprogram för dagvatten- och skyfallshantering.



Beräknade maximala flöden befintligt vid ett 100-årsregn med 50 min varaktighet

ARBETSMATERIAL

Tickanförklaring
 Beträffigt - maximala flöden (m³/s)
 0 - 0.01
 0.010000001 - 0.05
 0.05 - 0.1
 0.100000001 - 0.2
 0.2 - 0.27529996

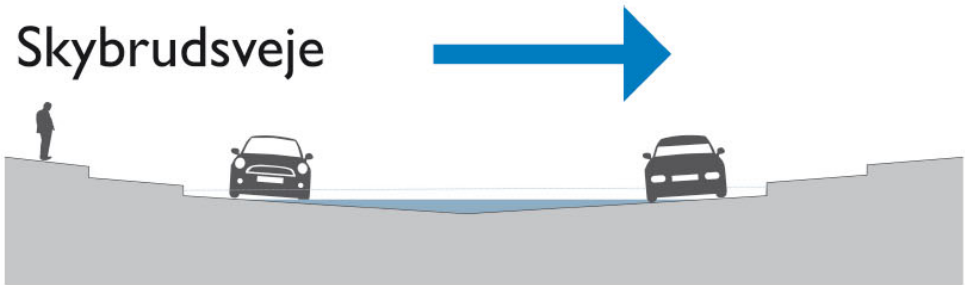
Skala: 1:2 000
 Datum: 2017-01-10
 Utvärterformat: A3



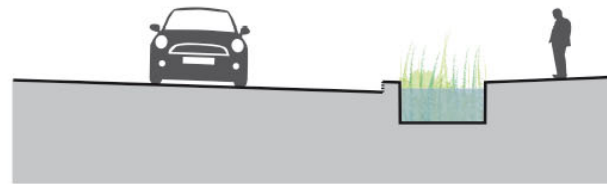
Norra Djurgårdsstaden



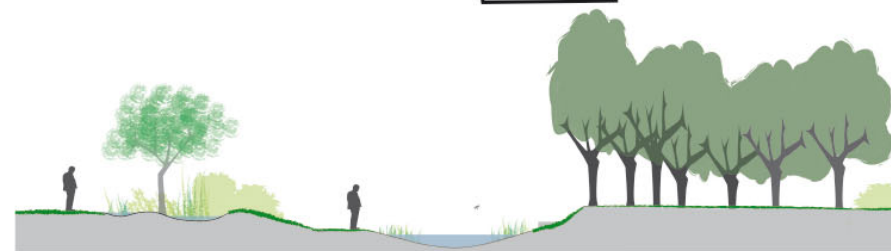
- Skybrudsveje – transporterer vand
- Forsinkelsesveje – transporterer og forsinker
- Forsinkelsespladser – opbevarer vand



Forsinkelsesveje 



Forsinkelsespladser 



Tåsinge klimatkvarter

Del av Köpenhamns Klimatplan



Tåsinge plads

- Arkitektävling
- 2012-2014
- Kostnad : 25 Mkr
- Skyfall och vardaglig nederbörd
- Livability - Kommunikation
- Rekreation
- Miljö – vatten för lek/hygien krav

“Projektet har förstått de boendes önskemål väl och lyckats skapa något som passar in och samtidigt bidrar till någonting helt nytt. Det kommer att bli ett lokalt landmärke som kan locka internationell uppmärksamhet”, förklarar stadsarkitekten Tina Saaby

Tåsinge plads



Tåsinge plads

I sol och 30 grader varmt...



...och vid kraftigt regnväder.

Sankt Annes plads



ENGHAVEPARKEN



Kontroll av hur mycket vatten som totalt rinner ned till Nybroviken

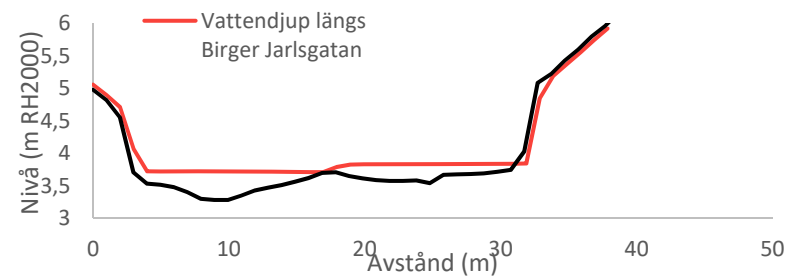
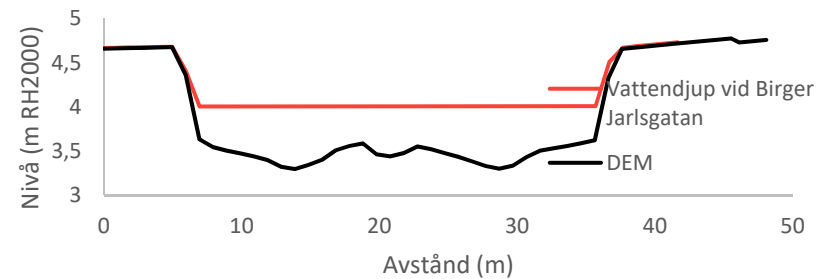
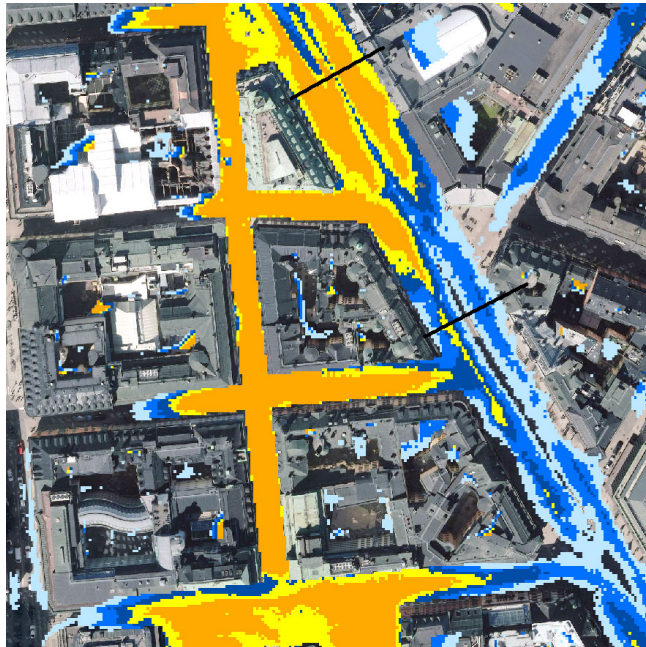
Programvara: SCALGO

Nederbördsbelastning:
50 mm

Vattenvolym: **52 860 m³**



Vattendjup längs Birger Jarlsgatan



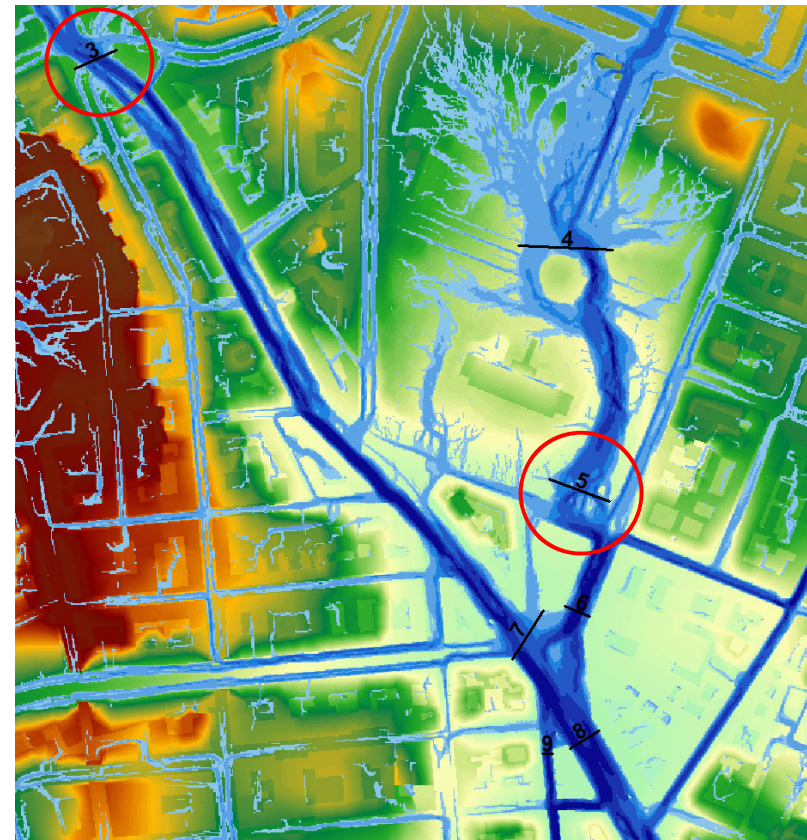
Längs Birger Jarlsgatan når vattendjupet upp till ca 0,5 meter, men här rinner vattnet undan pga topografin.

Det främsta problemet är att det uppkommer höga flöden och vattenhastigheter, vilket kan orsaka erosion och skador samt utgöra fara för liv.

Flöden och volymer

– simulering av befintliga förhållanden i MIKE 21

Sektion	Max flöde (m ³ /s)	Total tillrinning (m ³)
3	3.6	6340
4	3.7	7310
5	3.9	8375
6	5.5	13650
7	5.2	13464
8	7.8	17289
9	2.1	7583



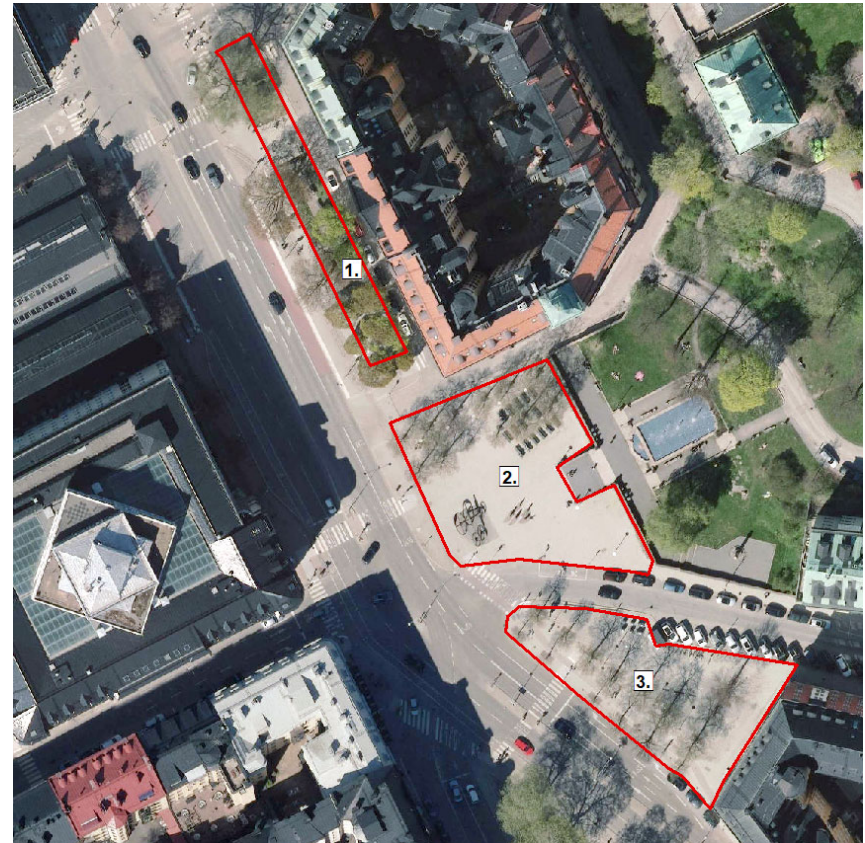
Eriksbergsplan – exempel på beräkning av magasinsvolymer

Yta	Area
1.	600 m ²
2.	1480 m ²
3.	1220 m ²
Totalt	3300 m ²

Jämför med volym som rinner genom sektion 3= 6340 m³

Djup för nedsänkning max 0,5 m
Ger totalt volym magasinera= 1650 m³

För att magasinera allt krävs att man sänker ner ytan ca 2 m



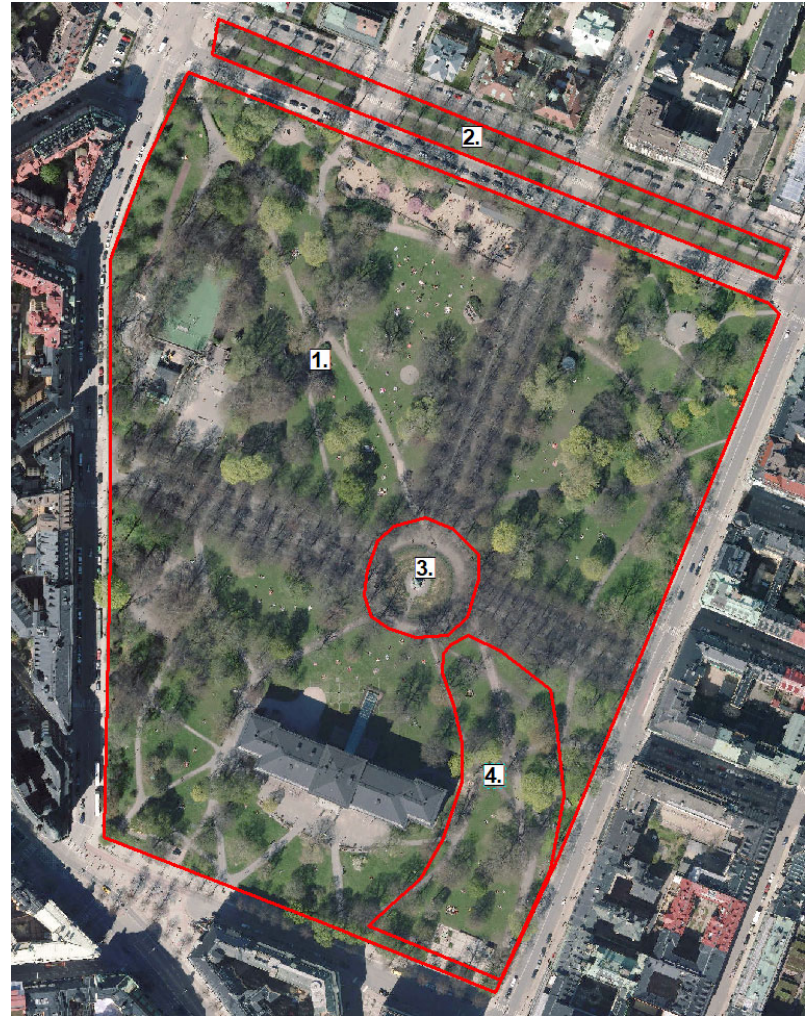
Humlegården

Yta	Area
1.	107920 m ²
2.	5220 m ²
3.	2750 m ²
4.	8979 m ²
Totalt (1+2)	113140 m ²

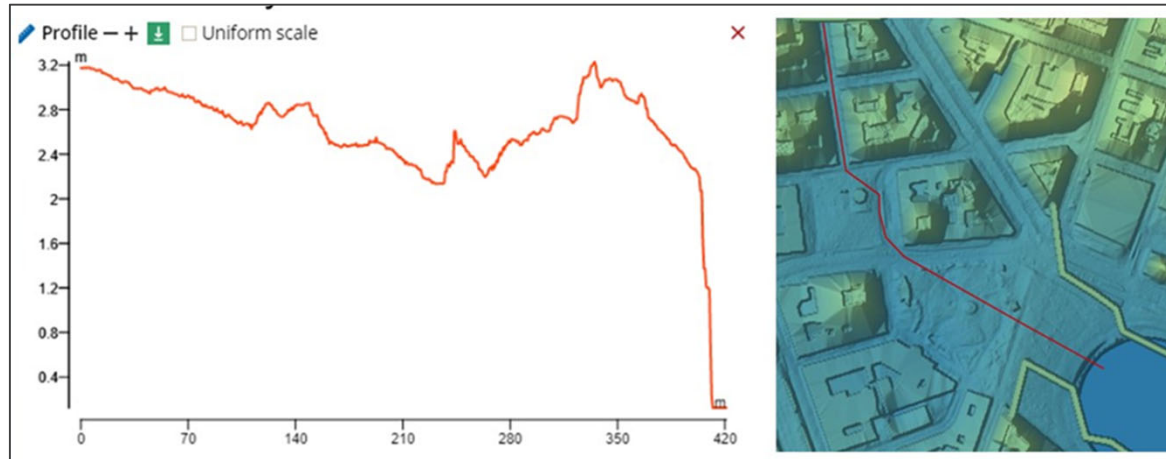
Volym genom Humlegården
Sektion 5 (MIKE21) = 8375 m³
Scalgo = 16660 m³

Magasinera 1 dm över hela ytan ger
11314 m³

Magasinera 5 dm vatten i de mindre ytorna
ger 8475 m³



Vattenutbredning vid Berzelii park och Norrmalmstorg



Profil längs Biblioteksgatan, över Norrmalmstorg och Berzelii park till Nybroviken från detaljerad höjdmödel (1x1m), bilden framtagen i Scalgo.

43

Översvämningsutbredning till nivån +3,05 m (RH2000), vilket motsvarar nivån där det börjar rinna över vid Raoul Wallenbergs torg, ner mot Nybroviken.

Vattennivån +3,05 nås enligt de hydrauliska beräkningarna redan efter ca 40 min. Då är flödet över Raoul Wallenbergs torg mindre än tillflödet till lågpunkten, vilket innebär att vattennivåerna i lågpunkten fortsätter stiga.



Åtgärder - Kontroll av hur stor vattenvolym som kan stoppas uppströms

Vatten som rinner över till **Nybroviken**

Volym totalt: 52 860 m³

Humlegården

Volym: 16 660 m³

Längs **Birger Jarlsgatan**

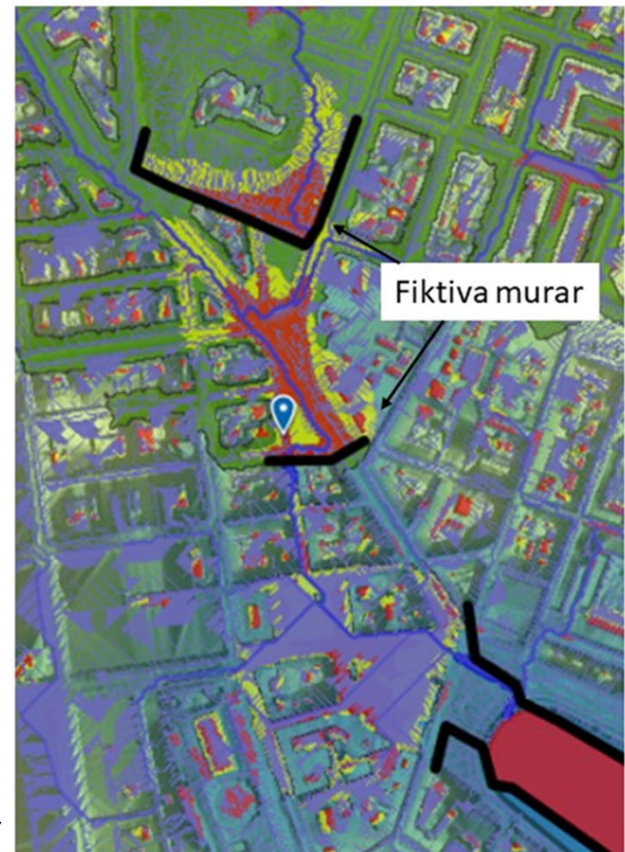
Volym: 26 690 m³

Trots åtgärderna fylls hela lågpunkten vid Berzelii park upp med vatten, totalt ca 12 700 m³ vatten ansamlas i lågpunkten.

Slutsats:

Krävs nedsänkning av en yta för att sänka nivån där vattnet rinner över till Nybroviken.

Alternativt anlägga en kulvert mellan lågpunkten och Nybroviken.



Ny skyfallsmodellering med åtgärder inlagda

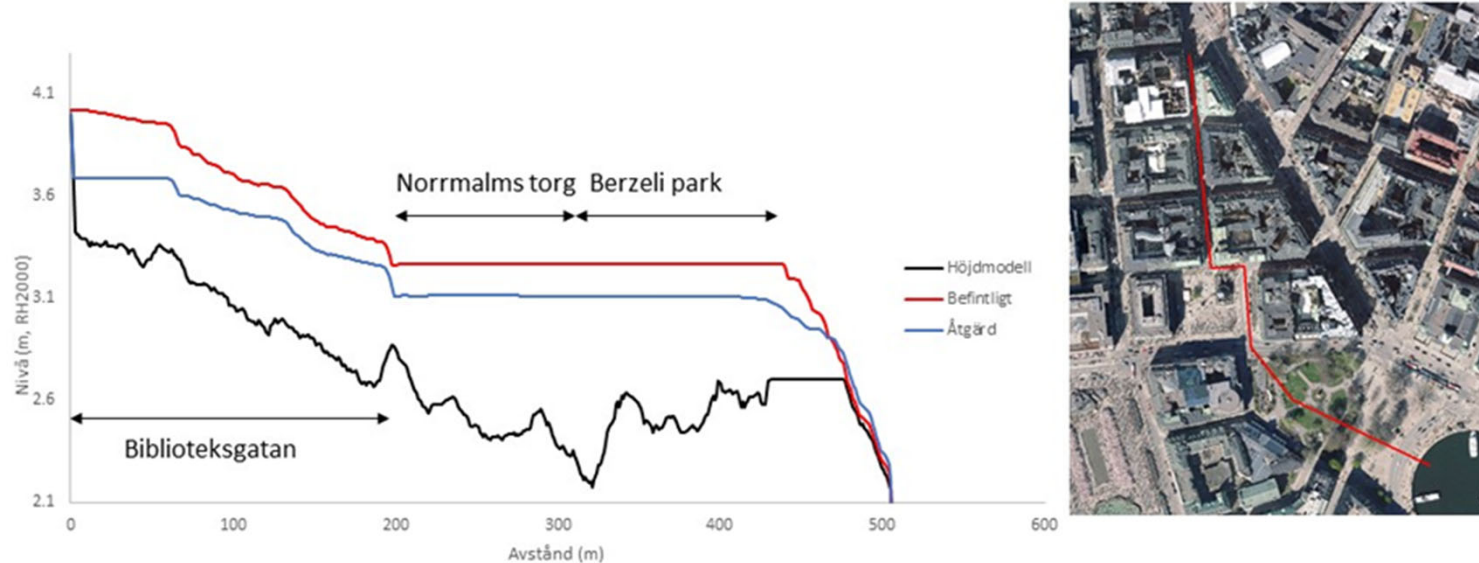
Utifrån analysen i Scalgo valdes tre olika typer av åtgärder ut, för att testas i en ny körning av den högupplösta skyfallsmodellen:

- Fiktiv mur med ca 2 meters höjd, för att magasinera vatten i Humlegården.
- Vägbumpar för att styra bort vattnet från Biblioteksgatan, Jakobsbergsgatan samt Humlegårdsgatan med en höjd på 0,5 m.
- Nedsänkning av en yta på Raoul Wallenbergs torg med en bredd på ca 20 meter på nivån +2,7 m (RH2000).



Beräknade vattennivåer längs en profil från Biblioteksgatan till Berzelii park

För att jämföra resultaten med och utan åtgärder har mer noggranna analyser av beräknade flöden och tillrinnande vattenvolym i ett antal sektioner utförts.



Beräknade maximala vattennivåer längs Biblioteksgatan, Norrmalmstorg och Berzelii park.

Svart = nivån på höjdmodellen, rött = beräknade vattennivåer vid nuläge och blått = vattennivå med åtgärder.

Resultat från skyfallsmodelleringen med åtgärder

Maximalt vattendjup

Vattendjup vid simuleringsslut



Resultaten av skyfallsmodelleringen med åtgärder inlagda visar på relativt små skillnader i översvämningsutbredning vid maximala vattennivåer i lågpunkten i Berzelii park. Däremot viss förbättring 2 timmar efter att regnet upphört.

Slutsatser pilotprojekt Clarity

- I pilotprojektet har en metod testats som kombinerar verktygen MIKE 21 för hydraulisk modellering och SCALGO för topografisk analys, vilket ger möjlighet att testa flera skyfallsåtgärder på ett tidseffektivt sätt.
- Resultaten visar att det är mycket stora vattenvolymer som måste fördröjas och kanaliseras genom den täta stadsmiljön, många åtgärder krävs.
- Humlegården är en stor park som kan fylla en viktig funktion för att temporärt dämna upp och fördröja stora flöden vid ett skyfall.
- Birger Jarlsgatan kommer troligen behöva utformas som en "skyfallsväg" för att leda stora vattenmängder ner till Nybroviken på ett kontrollerat sätt.
- Det finns idag en barriär vid Berzelii park/Raoul Wallenbergs torg som måste åtgärdas för att minska dämningen av regnvatten uppströms, relativt stora åtgärder krävs här.
- Det är viktigt att undersöka alla tänkbara åtgärder uppströms, för att reducera vattenflöden/översvämning nerströms, enligt principen "Många bäckar små...".
- Planerade skyfallsåtgärder bör också bidra till att förbättra stadsmiljön, och vara multifunktionella. Samtidigt ska kulturhistoriska intressen mm beaktas, vilket kommer att vara en utmaning i det fortsatta arbetet.