

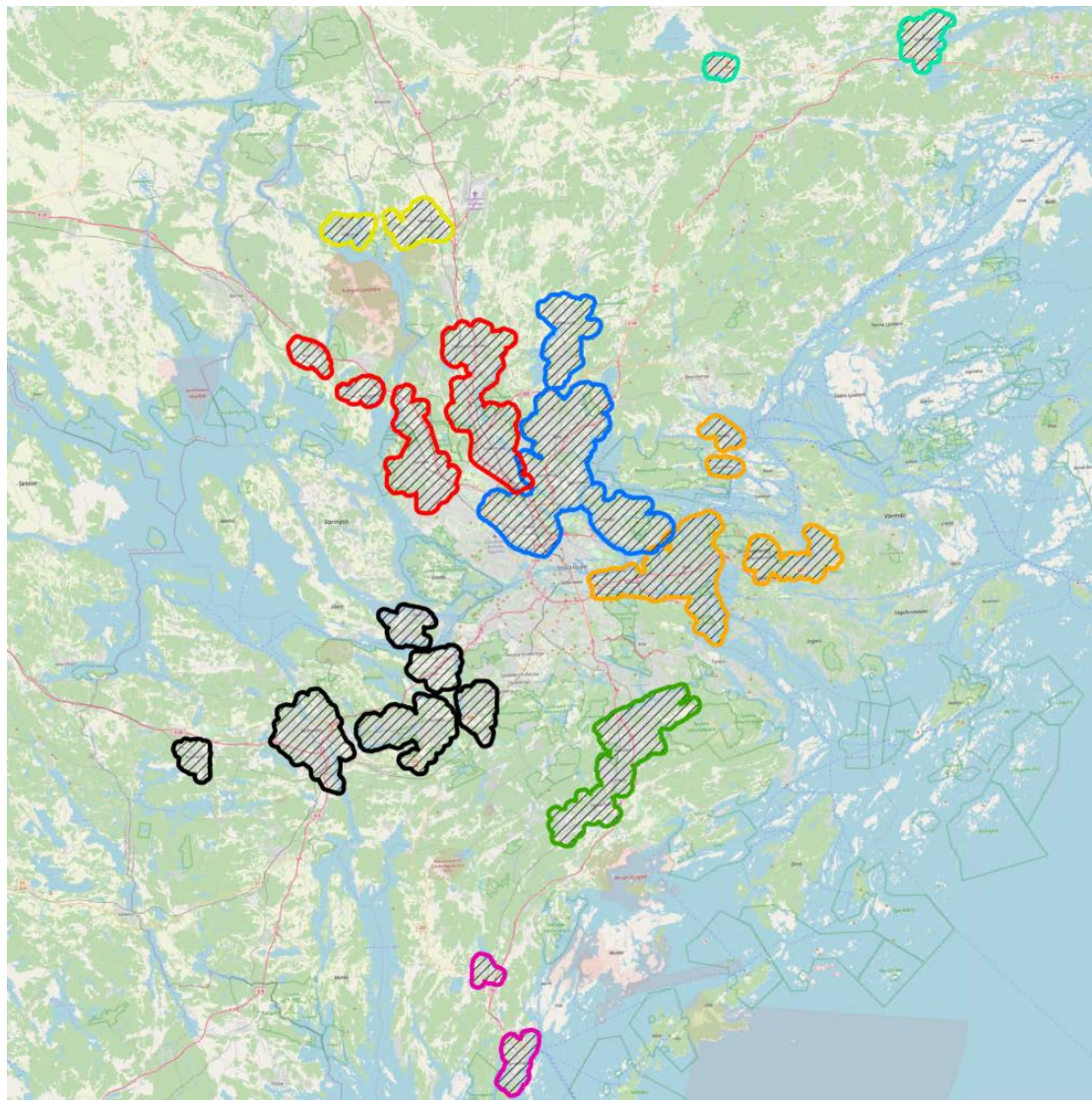
SKYFALLSKARTERING ÖVER STOCKHOLMS LÄN

LÄNSSTYRELSEN I STOCKHOLM

Skyfallskartering Länsstyrelsen Stockholm

UPPDRAGSNUMMER 13010768

RAPPORT MED VÄGLEDNING I RESULTATTOLKNING OCH PRAKTISK ANVÄNDNING



STATUS; OFFICIELL

VERSION 1

2020-12-18

SWECO ENVIRONMENT

Figur; Områden som ingår i skyfallskarteringen.
Karta; Copyright OpenStreetMap

Ändringsförteckning

VER.	STATUS	FÖRFATTARE	LEVERERAD
1	OFFICIELL	JONAS ALTHAGE	2020-12-18

Uppdragsorganisation Sweco

Jonas Althage	Uppdragsledare och Teknikansvarig
Aviral Shukla	Handläggare
Viktor Kalén	Handläggare
Helena Falk	Handläggare
Anne Adrup	Rapportgranskare
Sara Stomfelt	Rapportgranskare

Uppdragsorganisation Länsstyrelsen i Stockholm

Daniel Åkesson	Uppdragsledare
----------------	----------------

Kontaktinformation för frågor rörande skyfallskarteringen

Sweco

Jonas Althage	jonas.althage@sweco.se
<i>Uppdragsledare</i>	076 133 51 74

Länsstyrelsen

Daniel Åkesson	daniel.akesson@lansstyrelsen.se
	010 223 16 39

Sammanfattning

Sweco har genomfört en skyfallskartering för Länsstyrelsen i Stockholm. Syftet med skyfallskarteringen är att skapa ett länsgemensamt kunskapsunderlag för att hantera de risker för översvämningar som uppstår i samband med kraftiga skyfall.

Skyfallskarteringen har genomförts med hjälp av en hydraulisk beräkningsmodell över 37 tätorter inom Stockholms län, där översvämning från klimatjusterade 100- och 500-årsregn karterats. Från skyfallskarteringen har maximal översvämningssyta, maximalt vattendjup, maximal flödes hastighet samt flödesvektorer tagits fram och levererats som geodatalager.

Inom skyfallskarteringen har påverkande faktorer såsom markinfiltration, markytans strömningsmotstånd och schablonavdrag för dagvattenledningsnätet inkluderats. Över 1 800 passager såsom viadukter och broar har bearbetats i höjdmodellen för att säkerställa att skyfallsmodellen kan beräkna vattnets transport på ett tillförlitligt sätt.

Skyfallskarteringen visar att samtliga tätorter som karterats uppvisar stor, om än i varierande omfattning, översvämningssrisk vid de karterade skyfallen. Detta är helt i enlighet med vad som kan förväntas i och med att de skyfall som karteras är extremt kraftiga.

Skyfallskarteringen är översiktlig i den mening att den bland annat inte innehåller detaljerad information om dagvattenledningsnät och kulvertar. Detta påverkar resultatets lämplighet att användas tillförlitligt inom vissa utredningar som kräver mer omfattande skyfallsutredning.

Skyfallskarteringen utgör ett utmärkt underlag för utredningar och studier av mer översiktlig natur, men även vissa detaljerade utredningar. Skyfallsmodellen är uppbyggd på sådant vis att den med enkelhet kan göras mer detaljerad och även användas för så kallade kopplade beräkningsmodeller, där geometri för dagvattenledningsnätet och/eller vattendrag adderas i en så kallad ledningsnäts- eller vattendragsmodell. Detta möjliggör att skyfallsmodellen genom enkla modifieringar kan användas som underlag i mycket detaljerade utredningar.

Länsstyrelsen har ensam äganderätt till det karteringsresultat och de skyfallsmodeller som levererats, men beviljar nyttjanderätt för individuella projekt till både offentliga och privata aktörer.

Samtliga underlagsfiler till skyfallsmodellerna kan konverteras till universellt anpassningsbart format, för att snabbt och enkelt kunna användas i andra hydrauliska beräkningsmjukvaror om så skulle vara önskvärt.

<p>Sweco Gjörwellsgatan 22 Box 340 44 SE 100 26 Stockholm, Sverige Telefon +46 (0)8 695 60 00 Fax +46086956010 www.sweco.se</p>	<p>Sweco Environment AB RegNo: 556346-0327 Styrelsens säte: Stockholm</p>	<p>Jonas Althage Civilingenjör Marieberg, Stockholm Mobil +46 (0)761 33 51 74 jonas.althage@sweco.se</p>
---	---	---

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Orientering	1
1.3	Förutsättningar	2
2	Metod	4
2.1	Definition av karteringsområde	4
2.2	Indelning av tätorter i kluster	4
2.3	Skyfallsmodell	7
2.3.1	Nederbörd	7
2.3.2	Avdrag för dagvattenledningsnät	7
2.3.3	Infiltration	7
2.3.4	Strömningsmotstånd	8
2.3.5	Höjdmodell	8
2.3.6	Randvillkor	8
2.4	Bearbetning av resultat från skyfallskarteringen	8
2.4.1	Maximal översvämningsutbredning	8
2.4.2	Maximalt vattendjup	9
2.4.3	Maximal flödeshastighet	9
2.4.4	Flödesvektorer	9
3	Resultat från skyfallskartering	11
3.1	Generell vägledning i tolkning av resultat	11
3.1.1	Maximal översvämningsutbredning	14
3.1.2	Maximalt vattendjup	15
3.1.3	Maximal strömningshastighet	18
3.1.4	Flödesvektorer	20
3.2	Specifik vägledning och tolkning av resultat	22
3.2.1	Resultat vid modellranden	22
3.2.2	Resultat vid tunnlar	24
3.2.3	Resultat vid broar och viadukter	25
4	Praktiska användningsområden av skyfallskarteringen för offentlig och privat sektor	29
4.1	Översiktliga utredningar	29
4.2	Detaljerade utredningar	29
4.3	Exempel hur föreliggande skyfallskartering kan användas i planer och exploateringsprojekt	30
4.3.1	Översiktsplaner och Lokaliseringsstudier	30
4.3.2	Detaljplan och Systemhandling för verksamhetsområde utanför stadsmiljö	33
4.3.3	Detaljplan och Systemhandling för exploateringsområde inom stadsmiljö	34

4.3.4	VA-utredningar	36
4.3.5	Klimatanpassning för infrastruktur och bebyggelse	38
5	Alternativ för visualisering av skyfallskartering	40
5.1	3D-visualisering i GIS-mjukvara	40
5.2	3D-visualisering i CAD-mjukvara	41
5.3	Visualisering i Google Earth	43
6	Diskussion och rekommendationer för vidare användning av skyfallsmodellerna	44
7	Referenslista	45
8	Bilaga 1 – Beskrivning av levererat resultat	46

1 Inledning

Under 2020 anlidade Länsstyrelsen i Stockholm Sweco för att genomföra en skyfallskartering över 37 utpekade tätorter inom Stockholms län. Denna rapport redogör för projektets förutsättningar och genomförande. Den innehåller även kapitel med vägledning i resultattolkning samt praktiska exempel i användning av både karteringsresultatet och de levererade skyfallsmodellerna.

Rapporten riktar sig framförallt till personer inom offentlig sektor som arbetar med VA-, översvämnings- och skyfallsfrågor, klimatanpassning, planärenden, mark och exploatering, risk- och sårbarhetsanalyser, tillsynsfrågor med mera, samt personer inom privat sektor som arbetar med exploatering och infrastruktur såsom entreprenörer och byggherrar.

Länsstyrelsen i Stockholm innehar äganderätt till skyfallskartering och skyfallsmodeller som tagits fram i detta projekt.

Länsstyrelsen i Stockholm medger nyttjanderätt av både skyfallskarteringen och skyfallsmodellerna vid förfrågan, för både offentliga och privata aktörer.

1.1 Bakgrund

Länsstyrelsen i Stockholm har som myndighet tillsynsansvar i exploateringsfrågor i Stockholms län. Aktuell skyfallskartering upphandlades för att skapa ett länsgemensamt kunskapsunderlag för att hantera de risker för översvämnings som uppstår i samband med kraftiga skyfall.

1.2 Orientering

Totalt 37 större tätorter inom Stockholms län är inkluderade i skyfallskarteringen. Även ett antal mindre tätorter ingår i de områden som geografiskt täcks in. Dessa större tätorter listas i Tabell 1 nedan. För en kartöversikt över de geografiska områden som täcks av skyfallskarteringen, se Figur 1 i kapitel 2.2.

De i tabellen listade ortsnamnen omfattar *tätort* och inte *kommun*. I de fall tätortens namn överensstämmer med kommunens namn avses centralorten.

Tabell 1. De utvalda tätorter som är inkluderade i skyfallskarteringen.

Norrtälje	Sundbyberg	Nynäshamn
Rimbo, Norrtälje	Danderyd	Ösmo, Nynäshamn
Vallentuna	Solna	Södertälje
Resarö, Vaxholm	Lidingö	Bro, Upplands-Bro
Vaxön, Vaxholm	Gustavsberg, Värmdö	Kungsängen, Upplands-Bro
Täby	Vendelsö, Haninge	Nacka centralort
Täby Kyrkby, Täby	Västerhaninge, Haninge	Boo, Nacka
Sollentuna	Handen, Haninge	Saltsjöbaden, Nacka
Järfälla	Jordbro, Haninge	Hemmesta, Nacka
Sigtuna	Ekerö	Alby, Botkyrka
Märsta, Sigtuna	Tumba, Botkyrka	Salem
Tullinge	Vårsta	Nykvärn
Upplands Väsby		

1.3 Förutsättningar

Inom projektet har en stor mängd resultat tagit fram, i form av hydrauliska beräkningsmodeller och resultat från skyfallskarteringarna i form av geodata. Allt det material som tagits fram och levererats inom projektet är i koordinatsystemet Sweref99TM och höjdsystemet RH2000. Samtliga koordinater och höjdnivåer i denna rapport refererar till dessa system.

De skyfallshändelser som karterats är så kallade 100-årsregn och 500-årsregn. Detta är kortvariga och högintensiva regnhändelser som är så allvarliga att de statistiskt sett återkommer endast en gång vart 100:e respektive vart 500:e år.

Bägge dessa skyfallshändelser inkluderar i karteringen en klimatfaktor om 1,3, vilket för Stockholms län motsvarar förväntad ökning i nederbördsintensitet för skyfall år 2100 enligt IPCC:s klimatscenario RCP 8,5 (*Representative Concentration Pathways*).

Sannolikheten för att regn med olika återkomsttider ska inträffa under en särskild tidsperiod, visas sammanställt i Tabell 2. Det är till exempel 63 % chans att ett 100-årsregn inträffar under en given 100-årsperiod. Statistiskt under en mycket lång tidsperiod återkommer detta regn dock i snitt vart 100:e år.

Tabell 2. Ackumulerad sannolikhet för att ett regn med en viss återkomsttid ska inträffa under en given tidsperiod (MSB, 2017).

Återkomsttid av händelse	Sannolikhet under period om			
	10 år	20 år	50 år	100 år
10 år	65 %	88 %	99 %	100 %
20 år	40 %	64 %	92 %	99 %
50 år	18 %	33 %	64 %	87 %
100 år	10 %	18 %	39 %	63 %
500 år	2 %	4 %	10 %	18 %
1000 år	1 %	2 %	5 %	10 %

För att underlätta läsbarheten av rapporten kan skyfallen som karterats inom projektet refereras till som *klimatanpassat 100-årsregn*, *klimatanpassat 500-årsregn*, *klimatanpassat skyfall*, eller endast som *100-årsregn*, *500-årsregn* eller *skyfall*. I samtliga fall avses skyfall med klimatfaktor 1,3 enligt föregående stycke.

Som vattennivå i havet har medelvattenstånd år 2100, enligt klimatscenario RCP 8,5, använts för alla skyfallskarteringar där havet ingår i det karterade området. Detta vattenstånd motsvarar nivå +0,47 m i RH2000. För sjöar och vattendrag har särskilda randvillkor inte använts.

Resultatet från skyfallskarteringen inkluderar följande delar:

- Maximal översvämningsutbredning.
- Maximalt vattendjup.
- Maximal flödes hastighet.
- Flödesriktning och -hastighet för det dominerande flödesförloppet – detta resultatlager kan även benämnas *flödesvektorer* och denna benämning används härnå efter för enkelhetens skull.

Som tekniskt underlag till skyfallsmodellen har följande datalager använts:

- Fastighetskartan – Lantmäteriet
- Nationella Höjdmodellen – Lantmäteriet
- Ortofoto / Satellitfoto - Lantmäteriet
- Jordartskartan - SGU

Totalt omfattar skyfallskarteringen ca 740 km² yta.

2 Metod

Inom detta kapitel beskrivs vilken metod som använts i ett antal nyckelsteg i projektgenomförandet.

2.1 Definition av karteringsområde

Geografisk position och utbredning av de tätorter som ingår i skyfallskarteringen definierades med hjälp av Lantmäteriets vektorlager *Polygonskikt för tätorter (MB)* samt *Administrativa gränser (AL)*. Skyfallsmodellerna "expanderades/buffrades" även 500 m utanför dessa vektorlager för att förhöja tillförlitligheten till skyfallskarteringen.

2.2 Indelning av tätorter i kluster

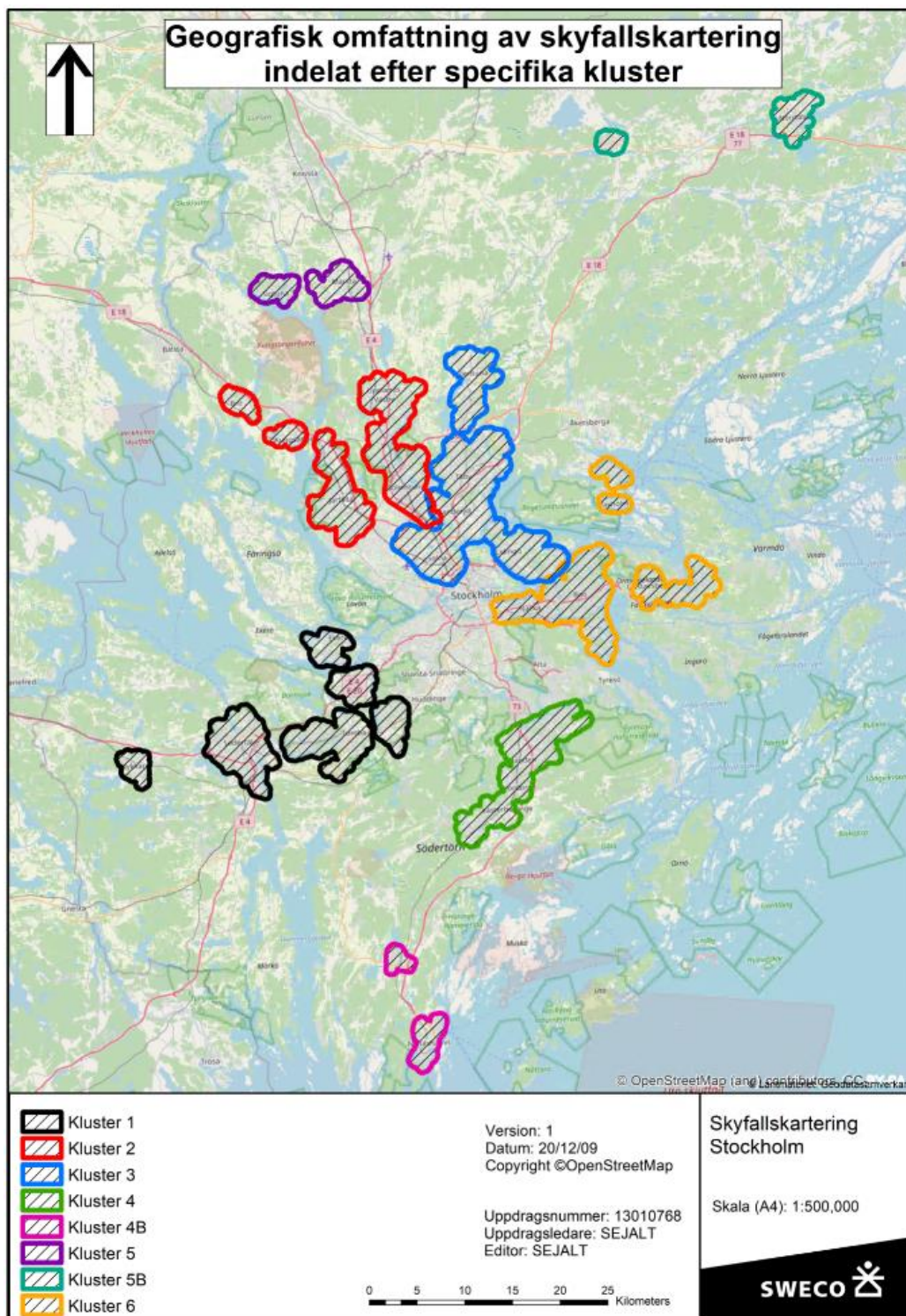
På grund av den mycket omfattande geografiska yta samt stora antalet tätorter som karterats, delades tätorter in i olika "kluster" (delområden). Det skapades sedermera individuella skyfallsmodeller för varje kluster.

Modellens omfattning täcker samtliga tätorter samt ett "buffertområde" motsvarande 500 m ut från tätorternas gräns. Underlag som tagits fram för skyfallsmodellerna täcker ett buffertområde motsvarande 700 m från tätortsgräns. Detta har gjorts för att det enkelt ska kunna gå att utöka skyfallsmodellen till viss del, utan att behöva utföra bearbetning av underlag på nytt, om behovet uppstår.

De olika klustren är namngivna och innehåller tätorter enligt Tabell 3, där klustrens storlek även redovisas. Dessa kluster visas även i Figur 1.

Tabell 3. Sammanställning över tätortsindelning i kluster, samt storleken för de skyfallsmodeller som satts upp för respektive kluster.

Kluster 1 150 km²	Kluster 2 140 km²	Kluster 3 175 km²
Södertälje Ekerö Salem Tumba Alby Tullinge Vårsta Nykvarn	Järfälla Sollentuna Upplands Väsby Kungsängen Bro	Täby Täby Kyrkby Solna Sundbyberg Lidingö Vallentuna Danderyd
Kluster 4 74 km²	Kluster 4B 23 km²	Kluster 5 33 km²
Vendelsö Västerhaninge Handen Jordbro	Nynäshamn Ösmo	Märsta Sigtuna
Kluster 5B 26 km²	Kluster 6 118 km²	
Norrtälje Rimbo	Resarö Vaxön Gustavsberg Nacka tätort Boo Saltsjöbaden Hemmesta	



Figur 1. Översikt över de i skyfallskarteringen ingående områdena, indelade efter kluster.

6 (47)

SKYFALLSKARTERING ÖVER STOCKHOLMS LÄN
 2020-12-18
 STATUS: OFFICIELL
 VERSION 1
 SKYFALLSKARTERING LÄNSSTYRELSEN STOCKHOLM

2.3 Skyfallsmodell

Den mjukvara som använts inom detta projekt för att bygga upp skyfallsmodellerna är *MIKE21 Flexible Mesh*. Samtliga underlagsfiler som levererats kan dock konverteras till andra mjukvaruformat, för att användas med andra beräkningsprogram om så önskas.

Alla de enskilda skyfallsmodellerna som levererats är uppbyggda med exakt samma underlag, bearbetningsrutin och enligt samma metod, för att säkerställa enhetlighet i karteringsresultatet.

Nedan beskrivs i korthet de övergripande funktioner och bearbetningar som är inkluderade i skyfallsmodellerna. För en detaljerad teknisk beskrivning över skyfallsmodellerna och de ingående förutsättningarna, vänligen se rapporten *Skyfallskartering över Stockholms län - Modellteknisk rapport* som levererats inom detta projekt. Denna rapport hänvisas härnäst kort till som "Modellteknisk rapport".

2.3.1 Nederbörd

Inom projektet har skyfallskartering genomförts för klimatanpassade 100-årsregn och 500-årsregn, där en klimatfaktor om 1,3 har använts.

Nederbördskurvorna som använts är så kallade CDS-regn (Chicago Design Storm) med total varaktighet om sex timmar. Under denna regnperiod varierar nederbördsintensiteten kraftigt, där "mittenpartiet" av regnet är det mest intensiva.

Totalt omfattar 100-årsregnet 109 mm och 500-årsregnet 184 mm regn. En beskrivning av hur regnintensiteten varierar över tid redovisas i den modelltekniska rapporten.

2.3.2 Avdrag för dagvattenledningsnät

De skyfallsmodeller som levererats inom detta projekt innehåller ingen separat beräkningsmodell över dagvattenledningsnätet (en så kallad ledningsnätmodell). Detta betyder att dagvattenledningsnätets kapacitet inte kan beräknas baserat på dess verkliga transportkapacitet. Istället representeras dagvattenledningsnätets kapacitet översiktligt i samtliga skyfallsmodeller, genom att ett schablonavdrag görs till skyfallsmodellens nederbördsbelastning.

Schablonavdraget består av att ett klimatanpassat CDS-regn med 10 års återkomsttid och klimatfaktor 1,3 dras bort från den totala nederbördsmängden, för alla hårdgjorda (impermeabla) ytor. På genomsläppliga (impermeabla) ytor görs inget avdrag till nederbördsmängden.

2.3.3 Infiltration

Markens infiltrationsförmåga medför i verkligheten att en viss andel av skyfallet infiltrerar genom marken. I skyfallsmodellerna används över 150 unika typer av markanvändning och jordarter för att beskriva markinfiltrationen.

2.3.4 Strömningsmotstånd

Markens strömningsmotstånd påverkar hur hög vattenhastighet och -djup som uppstår inom ett område. Ytor såsom åker eller skog har till exempel högre strömningsmotstånd än asfalterade ytor eller gräsmattor. I skyfallsmodellerna är markens strömningsmotstånd beskrivet med parametern Mannings tal, M.

Strömningsmotståndet ansätts genom analys av markanvändning och kan anta över 50 unika värden.

2.3.5 Höjdmodell

Den höjdmodell som använts inom projektet är Lantmäteriets Nationella Höjdmodell med upplösning om 2 x 2 m. Denna höjdmodell inkluderar i grundutförandet vissa bearbetningar, där till exempel byggnader är upphöjda och där större infrastrukturpassager, såsom större broar, är "nedbrända" för att representera marknivåer under dessa passager.

Sweco har även utfört en mycket omfattande egen bearbetning av höjdmodellen, för att säkerställa att infrastrukturpassager är inkluderade i höjdmodellen och därmed på ett så korrekt vis som möjligt beskriva vattnets transport i skyfallsmodellen.

Totalt har över 1 800 infrastrukturpassager justerats i skyfallsmodellerna.

2.3.6 Randvillkor

Nivå i havet har, i alla skyfallsmodeller som geografiskt täcker havsstränder, representerats med en fast nivå om +0,47 m. Detta betyder att vattennivån inom dessa områden aldrig kan stiga över +0,47 m.

För övriga områden i skyfallsmodellerna har inga särskilda randvillkor använts. Vattennivån i sjöar och vattendrag är satta enligt Lantmäteriets Nationella Höjdmodell, för att ungefärligt representera medelvattenstånd. Längs med skyfallsmodellernas ytterkanter, där modellen "slutar", finns inga randvillkor satta. Detta betyder att modellens ytterkant representeras som en "vägg", förutom där dessa områden utgörs av havsstrand (då gäller istället att vattennivån +0,47 m är ansatt).

2.4 Bearbetning av resultat från skyfallskarteringen

Fyra geodatalager med karteringsresultat har levererats för varje kluster och skyfallsberäkning. Nedan följer en kort beskrivning av hur respektive resultatfil tagits fram.

2.4.1 Maximal översvämningsutbredning

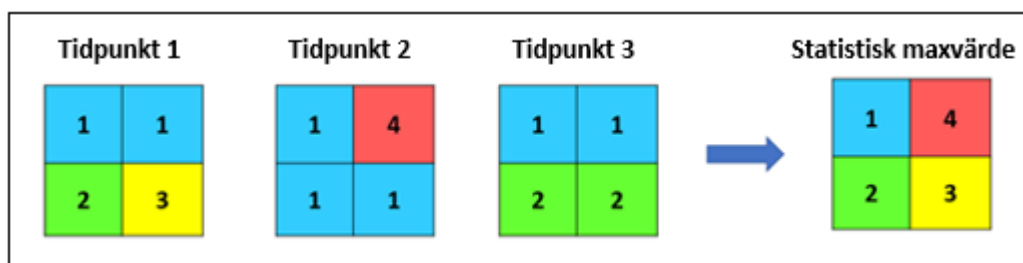
Den maximala översvämningsutbredning som uppstår i samband med skyfall konverteras från modellformat till vektorlager (.shp) i form av polygoner.

För att underlätta visualiseringen av översvämningsrisk visar detta resultatlager endast översvämningsutbredningen där vattendjupet som minst är 10 cm. Om vattendjupet inom ett område är lägre än 10 cm inkluderas alltså inte detta område i resultatpresentationen.

Detta har gjorts för att underlätta tolkning av resultat samt för att djup som understiger 10 cm sällan medför särskilt allvarliga konsekvenser.

2.4.2 Maximalt vattendjup

Under skyfallsmodellens beräkningsperiod uppstår naturligt olika stora djup vid olika tillfällen. Det resultat som beskriver maximalt vattendjup avser *statistiskt maximalt vattendjup* under hela beräkningsperioden. Detta betyder att resultatet visar en "sammanslagning" av de maximala vattendjup som uppstår i alla individuella beräkningspunkter, oavsett tidpunkt. Det är alltså inte en "ögonblicksbild" utan en statistisk analys av vattendjupet under hela modellperioden. Detta visualiseras förenklat i Figur 2.



Figur 2. Visualisering över hur statistiskt maximalt vattendjup beräknas.

För att förenkla visualiseringen av översvämningsrisk har alla maximala vattendjup som understiger 10 cm filtrerats bort från resultatfilerna, av samma anledning som beskrivs i kapitel 2.4.1.

Resultatfilerna för det maximala vattendjupet som levererats i projektet utgörs av ett raster (.asc) och har en upplösning om 2x2 m.

2.4.3 Maximal flödes hastighet

Precis som för resultatet som beskriver maximalt vattendjup, avser resultatet som beskriver maximal flödes hastighet den *statistiskt maximala* flödes hastigheten som uppstår under modellperioden.

Resultatet som visar maximal flödes hastighet inkluderar endast områden där det maximala vattendjupet samtidigt överstiger 10 cm. Samma "filtrering" har alltså genomförts för resultatet för maximalt vattendjup och maximal flödes hastighet.

Resultatfilerna för den maximala flödes hastigheten som levererats i projektet utgörs av ett raster (.asc) och har en upplösning om 2x2 m.

2.4.4 Flödesvektorer

Från skyfallskarтерingarna har flödesvektorer för den dominerande flödes riktningen och det generella flödes mönstret tagits fram. Till skillnad från resultatet som visar maximalt vattendjup och maximal flödes hastighet, visar flödesvektorena hur vatten strömmar

under en viss tidpunkt. Tidpunkten har valts för att ge en representativ bild över hur flödesvägar och hastigheter ser ut under det mest intensiva förloppet vid ett skyfall.

Resultatet består av ett vektorlager (.shp) som visar *riktning* och *storlek* på vattnets hastighet under en given tidpunkt. Detta resultatlager är uttaget 2 h 40 min efter det att skyfallet börjar och precis efter att den mest intensiva nederbördsperioden passerat.

Flödesvektorerna har inte genomgått den "filtrering" som föregående resultatlager gjort, vilket betyder att det förekommer att dessa flödespilar återfinns i områden där det till exempel inte redovisas ett maximalt vattendjup.

3 Resultat från skyfallskartering

Inom detta huvudkapitel beskrivs det resultat som levererats för skyfallskarteringen och kartexempel över lokala geografiska områden med resultat visas. En övergripande vägledning i resultattolkning är inkluderad för att underlätta förståelsen för karteringen och det beskrivs även vilka generella begränsningar som finns i resultatet.

Vid översvämningskartering av skyfall med 100 och 500 års återkomsttid, så som karterats inom detta projekt, bör det förväntas att stora sammanhängande översvämningsytor uppstår i både urbana och rurala miljöer.

Skyfallens storlek överstiger vida den kapacitet som dagvattenledningsnät och markavvattningsföretag som regel är dimensionerade för. Det är även vanligt förekommande att broar och kulvertar i vattendrag både inom och utanför tätortsgräns inte är dimensionerade för sådana flöden som skapas av dessa skyfall.

Samtliga av de totalt 37 tätorter som karterats uppvisar omfattande översvämningsrisk vid de karterade skyfallen inom ett flertal områden. Omfattningen av översvämnningen varierar dock från område till område och särskilt bör *konsekvensen* av skyfallen variera signifikant.

Det går snabbt att genomföra beräkningar i skyfallsmodellerna, trots dessas storlek. Ingen beräkningsmodell krävde vid kartering mer än 12 timmar simuleringstid.

3.1 Generell vägledning i tolkning av resultat

Det finns ingen officiell nationellt antagen indelning av översvämningsomfattning i olika "konsekvenskategorier". Konsekvensen på en plats påverkas inte bara av vattendjupet utan även av strömningshastigheten och översvämningsens varaktighet. Konsekvensen på en given plats ökar generellt med vattendjupet, strömningshastigheten och varaktigheten för översvämnningen.

Även mycket små översvämningsdjup kan i vissa fall medföra stora konsekvenser. Till exempel; om en garagedfart översvämmas med 10 cm kan det teoretiskt resultera i att hela garaget vattenfylls och mycket stora materiella skador uppstår, om inte vattnet kan avledas genom ledningsnätet i garaget. Av denna anledning är det viktigt att inte bara studera vattendjup utan även *vattennivå* för översvämningsytor. Vattennivå ingår dock inte som leverans inom denna kartering, men kan tas fram från skyfallsmodellerna.

Tabell 4 visar en översiktligt vägledning för hur konsekvens kan bedömas vid olika vattendjup och beroende på om vattnet är stillastående eller snabbt strömmande. Denna indelning är både relativ och subjektiv och ämnar endast ge vägledande stöd i tolkning av de potentiella konsekvenser som kan uppstå vid kraftiga skyfall. Tabellen hämtar inspiration och kunskap från bland annat FEMA (2018), Hawkesbury-Nepean Floodplain Management Strategy Steering Committee (2006) och DEFRA (2006).

Tabell 4. Översiktlig vägledande beskrivning för risker som kan uppstå vid olika översvämningsdjup. Denna beskrivning är subjektiv och riskerna som beskrivs varierar beroende på till exempel exploateringsgrad, terrängens lutning och vattnets strömningshastighet. Beskrivningen avser generellt översvämnning inom tätbebyggda områden.

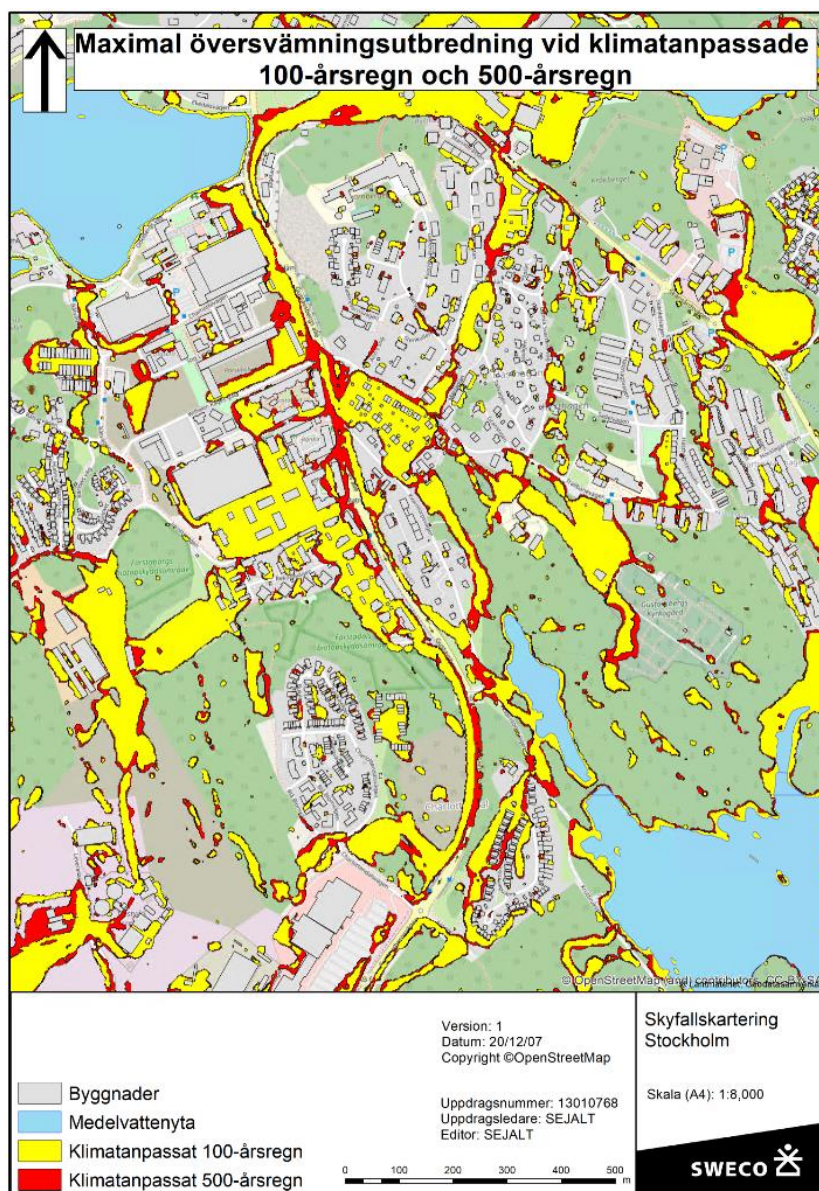
Vattendjup (m)	Vägledande beskrivning av <i>potentiella</i> risker i översvämningsområden	
	Områden med <i>stillstående vatten</i>	Områden med <i>hög strömningshastighet</i>
<0,1 m	Generellt uppstår ingen större konsekvens vid vattendjup under 10 cm.	Något högre, men ej uttalad, risk för betydande konsekvens jämfört med områden med stillstående vatten.
0,1-0,4 m	Risk för materiella skador på egendom och fastigheter, framförallt där golvnivå ligger nära omkringliggande marknivå, kan förväntas. Framkomligheten för lättare fordon påverkas generellt. Vid djup upp till 30-40 cm blir påverkan mer uttalad och även fordon med större markfrigång påverkas. Betydande osäkerhet i farbarhet för större fordon inom räddningstjänst kan antas förekomma vid de större djupen.	Högre risk för negativ konsekvens rörande fordons framkomlighet samt materiella skador på fastighet och egendom, jämfört med områden med stillstående vatten. Risk för erosionsskador inom områden med lägre motståndskraft. Risk för personskador uppstår inom särskilda riskgrupper.
0,3-0,6 m	Stor risk för ekonomisk skada på fastighet och egendom. Vägar sannolikt ej körbara för personbilar. Fordon med större markfrigång har osäker framkomlighet. Risk för personskador är begränsad, men ökar något. Varaktighet av översvämnning i större flacka och instängda områden förväntas generellt öka signifikant.	Hög risk för ekonomisk skada på fordon och fastighet. Vägar ej körbara för personbilar. Fordon med större markfrigång har osäker framkomlighet och löper risk att skadas. Risk att fordon dras med i vattenmassor ("spolas bort"). Hög risk för markerosion inom områden med lägre motståndskraft. Risk för personskador ökar signifikant, särskilt inom riskgrupper.

<p>0,5-1 m</p>	<p>Hög risk för omfattande materiella skador på fastighet och egendom.</p> <p>Vägar är generellt inte farbara förutom för större arbetsfordon.</p> <p>Betydande risk för allvarliga personskador ökar, framförallt för vissa riskgrupper.</p>	<p>Mycket hög risk för mycket omfattande ekonomisk skada på fastighet och egendom.</p> <p>Vägar är ej farbara för de flesta fordon. Även större arbetsfordon kan ha stora problem med framkomlighet och säkerhet.</p> <p>Mycket stor risk att fordon dras med i vattenmassor.</p> <p>Stor risk för större erosionskador inom områden med lägre motståndskraft.</p> <p>Mycket stor risk för allvarliga personskador.</p>
<p>>1 m</p>	<p>Mycket hög risk för mycket omfattande materiella skador på fastighet och egendom.</p> <p>Endast fordon med mycket stor markfrigång kan framföras på vägar. Framförande på väg kan innebära betydande risk för fordon och person.</p> <p>Hög risk för allvarliga personskador, framförallt inom vissa riskgrupper.</p> <p>Risk för lång varaktighet av översvämning där större områden inte är tillgängliga för till exempel räddningspersonal.</p>	<p>Synnerligen omfattande risk för mycket omfattande skador på fastighet och egendom.</p> <p>Inga fordon, inklusive större arbetsfordon, kan framföras på vägar på ett säkert vis.</p> <p>Synnerligen hög risk att både personbilar och större fordon dras med i vattenmassor.</p> <p>Mycket stor risk för större erosionskador inom områden med lägre motståndskraft.</p> <p>Synnerligen hög risk för allvarliga personskador.</p>

För att göra en välgrundad konsekvensanalys över skyfallshändelser behöver ett flertal faktorer studeras. I här efterföljande delkapitel beskrivs levererat resultat och hur det kan användas i konsekvensanalyser. För ytterligare vägledning rekommenderas även bland annat MSB:s skrift för vägledande arbete med skyfallskartering (MSB 2017).

3.1.1 Maximal översvämningsutbredning

Det resultatlager som visar maximal översvämningsutbredning består av ett vektorlager (polygonlager). Detta lager visar den geografiska omfattningen av den översvämningsyta som uppstår både för 100-årsregnet och 500-årsregnet. Figur 3 visar ett exempel på hur översvämningsutbredningen kan redovisas på karta.



Figur 3. Exempel som visar hur översvämningsutbredning för 100- och 500-årsregnet representeras i GIS-mjukvara. Översvämningsutbredningen visar vattenytor som har ett vattendjup om 10 cm eller mer. 100-årsregnet är överlagrat 500-årsregnet i bilden.

I Figur 3 är översvämningssytan för 100-årsregnet överlagrat den samma för 500-årsregnet. Det betyder att överallt som det är översvämning för 100-årsregnet (det gula lagret i figuren) är det också översvämning från 500-årsregnet (det röda lagret). Det kan även ses i figuren att 500-årsregnet skapar en betydligt större översvämningssyta än 100-årsregnet, vilket är helt enligt förväntan.

Resultatet är av hög kvalitet och har inga beräkningstekniska svagheter, det vill säga skyfallsmodellens beräkningsmetod medför inga särskilda egenheter som gör resultatet svårtolkat. Däremot medför de förutsättningar som råder inom projektet att *metodiken* medför vissa begränsningar i hur resultatet kan användas. Dessa företeelser beskrivs i kapitel 3.2.

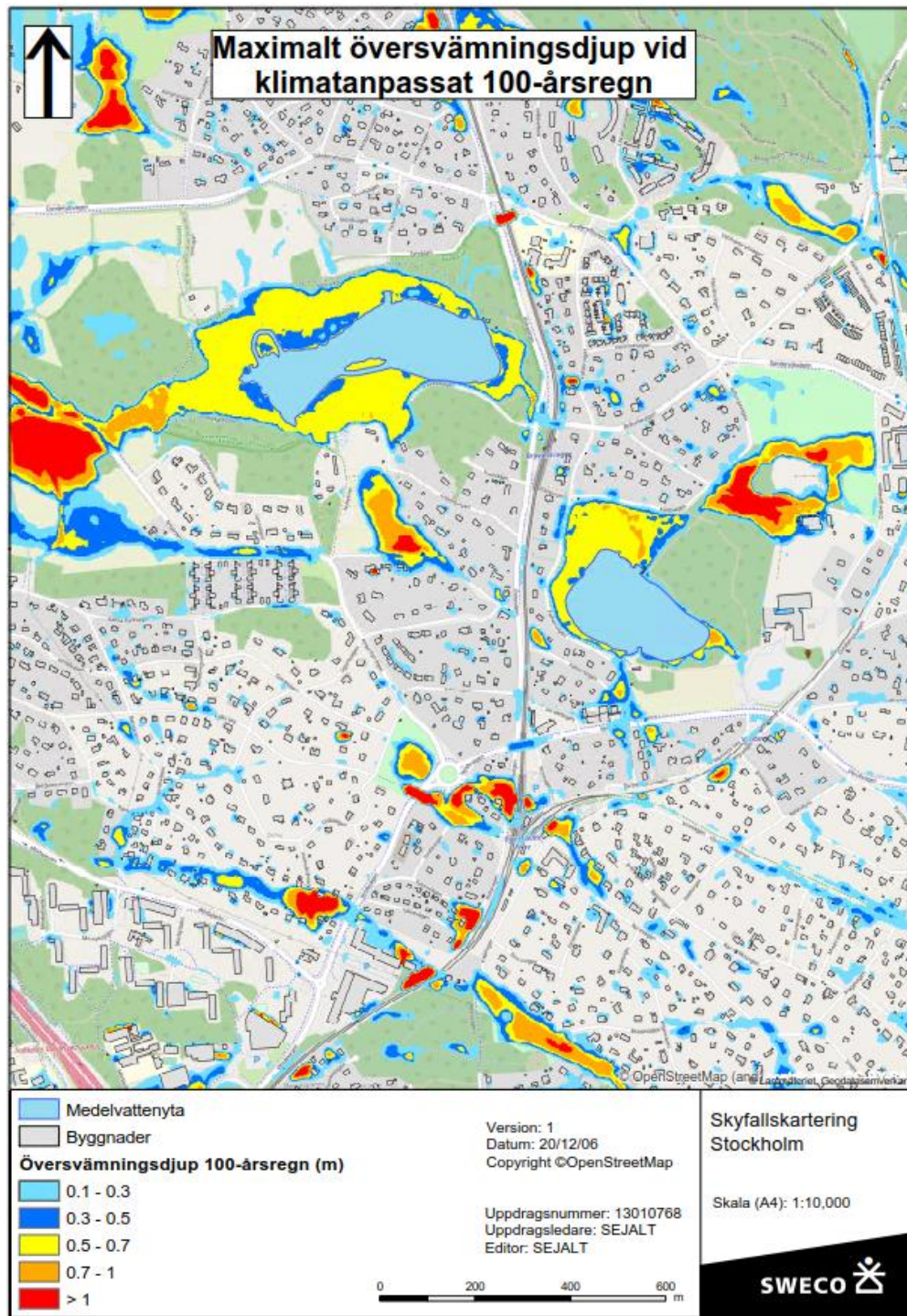
3.1.2 Maximalt vattendjup

Det maximala vattendjupet motsvarar, som beskrivits i kapitel 2.4.2, det maximala djupet som uppstår någon gång under skyfallsförloppet och är således ingen "ögonblicksbild". Vattendjupet beskriver inte hur långvarig översvämningen är eller hur stor skada som kan orsakas.

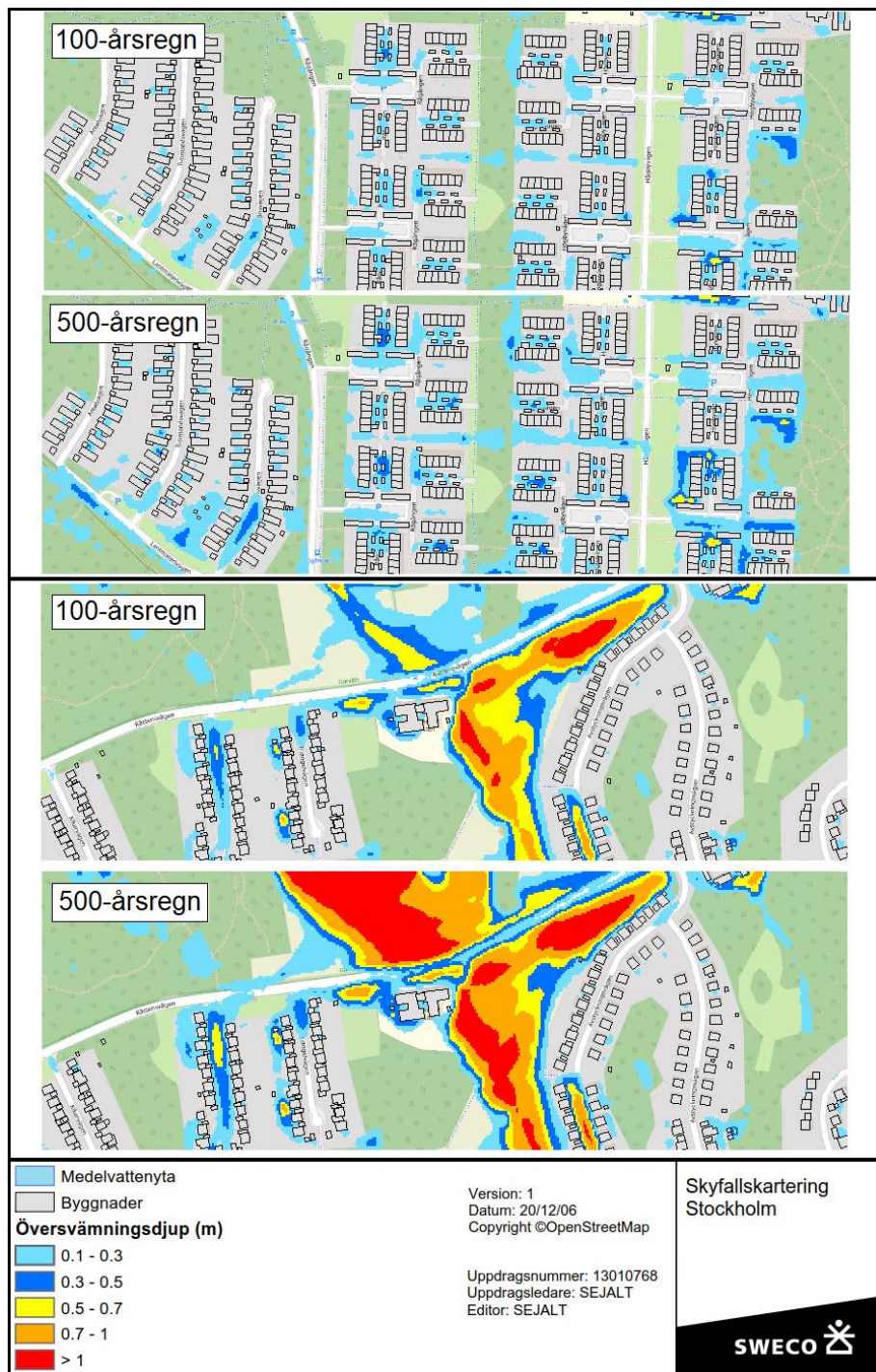
Generellt anses översvämningssdjup under 10 cm inte ge betydande konsekvenser, vilket bland annat är anledningen till att dessa djup "filtrerats bort" från levererade resultatfiler för översvämningssdjup. Figur 4 visar ett exempel från skyfallskarteringen där maximalt vattendjup redovisas för klimatanpassat 100-årsregn.

500-årsregnet ger alltid större översvämningssdjup och -omfattning än 100-årsregnet. Vid jämförelse mellan dessa två skyfallshändelser kommer dock graden av "förvärring" variera beroende på lokala förutsättningar. Ett mindre lokalt instängt område kan till exempel uppvisa mycket liknande översvämningssomfattning, då lågpunkten kan fyllas upp vid båda skyfallen. Större rinnstråk och lågpunkter som inte helt hinner fyllas upp kan däremot visa mycket stor ökning i översvämningssdjup vid 500-årsregnet.

Generellt är översvämningssdjupet och -omfattningen betydligt värre vid 500-årsregnet jämfört med 100-årsregnet, framförallt inom tätbebyggda områden. En jämförelse mellan översvämningssdjupet för 100-årsregnet och 500-årsregnet visas i Figur 5.



Figur 4. Exempel på resultat för maximalt vattendjup vid klimatanpassat 100-årsregn.



Figur 5. Exempel på hur översvämningsdjupet och -omfattningen kan variera mellan 100-årsregnet och 500-årsregnet. I det översta bildparet är skillnaden mellan de båda skyfallen lägre än i det undre bildparet.

Resultatet som visar det maximala vattendjupet är av hög kvalitet och ger en mycket god beskrivning över de översvämningsdjup som skapas i skyfallsmodellen. Det finns dock ett antal mindre företeelser som påverkar hur resultatet kan appliceras i praktiken. Dessa beskrivs senare i denna rapport i kapitel 3.2.

3.1.3 Maximal strömningshastighet

Resultatet från skyfallskarteringen som visar maximal strömningshastighet, det vill säga hur hög den statistiskt maximala vattenhastigheten inom karteringsområdet är, har genomgått "filtrering" på samma vis som resultatet för maximalt vattendjup. Strömningshastigheten finns således bara representerad där maxvattendjupet minst uppgår till 10 cm under skyfallsberäkningen. Detta resultatlager innehåller vissa beräkningstekniska företeelser som medför att det kan vara något svårtolkat.

Eftersom resultatet är en beräkning av den statistiskt maximala *strömningshastigheten* (m/s), finns ingen linjär koppling till det maximala *vattenflödet* (m³/s). Det är viktigt att tydligt särskilja dessa två begrepp eftersom de är två separata faktorer.

Strömningshastigheten kan vara väldigt hög även om det totala vattenflödet är väldigt lågt. Vice versa förhållande kan även råda. Ett exempel som tydligt illustrerar det första förhållandet är då strömningshastighet beräknas vid avrinning från byggnadstak.

Eftersom byggnader är upphöjda relativt kringliggande mark, uppstår en brant nivågradient i övergången mellan byggnad och omkringliggande mark. I verkligheten avrinner regn via stuprör och andra avvattningsanordningar, eller faller med gravitation från tak till mark. I skyfallsmodellen finns ingen sådan representationsmöjlighet dock.

Modelltekniskt betyder detta att vatten från nederbörd i princip rinner nedför en mycket brant sluttning när det rinner av takyta och ned på mark, vilket leder till att det får en hög hastighet. Detta fenomen medför att resultatlagret kan vara svårtolkat i framförallt tätbebyggda områden. Exempel på detta visas i Figur 6.

I Figur 6 har tre byggnader, belägna på olika platser, ringats in och redovisas med siffran "1". Inom dessa inringade områden ses tydligt att höga strömningshastigheter uppstår vid fasaden kring byggnaderna, trots att ingen större transport av vatten verkar ske i direkt anslutning till dessa ytor. Detta beror delvis på att vatten här rinner av hustaken och då rinner över en kort sträcka med mycket brant lutning, vilket skapar höga hastigheter.

Aktuellt resultatlager innehåller ingen information om i vilken *riktning* vattnet rinner. Ett bättre mått på den *dominerande* strömningshastigheten och -mönstret kan istället urskiljas genom att inkludera resultatlagret *Flödesvektorer*. Detta resonemang beskrivs i mer detalj i kapitel 3.2.



Figur 6. Exempel på resultat för maximal strömningshastighet vid klimatanpassat 100-årsregn. De tre områden som benämns "1" visar höga strömningshastigheter på grund av lokal påverkan från byggnader. Områden som benämns "2" visar väl urskiljbara flödesvägar med större strömningshastighet i mitten av flödesvägen. Området som benämns "3" visar lokal höjning av strömningshastighet då vattnet rinner över vägkrön.

Figur 6 visar dock andra goda exempel på när den maximala strömningshastigheten beräknats på ett sätt som ger god information till en konsekvensbedömning för skyfall. Exempelvis kan man i det som benämns område "2" se väl urskiljbara "strömmar" med höga hastigheter centralt i flödesvägen och lägre hastigheter vid sidorna. Område "3" påvisar att hastigheten lokalt ökar markant då vattnet rinner över ett vägkrön.

Sammanfattningsvis kan konstateras att resultatet som redovisar maximal strömningshastighet kräver relativt god kunskap om skyfallsmodeller och de händelseförlopp som påverkar vattenströmmar, för att kunna användas som underlag till konsekvensanalyser för skyfall. Detta är generellt gällande i projekt då resultat beräknats på det vis som varit metod och förutsättning i föreliggande skyfallskartering.

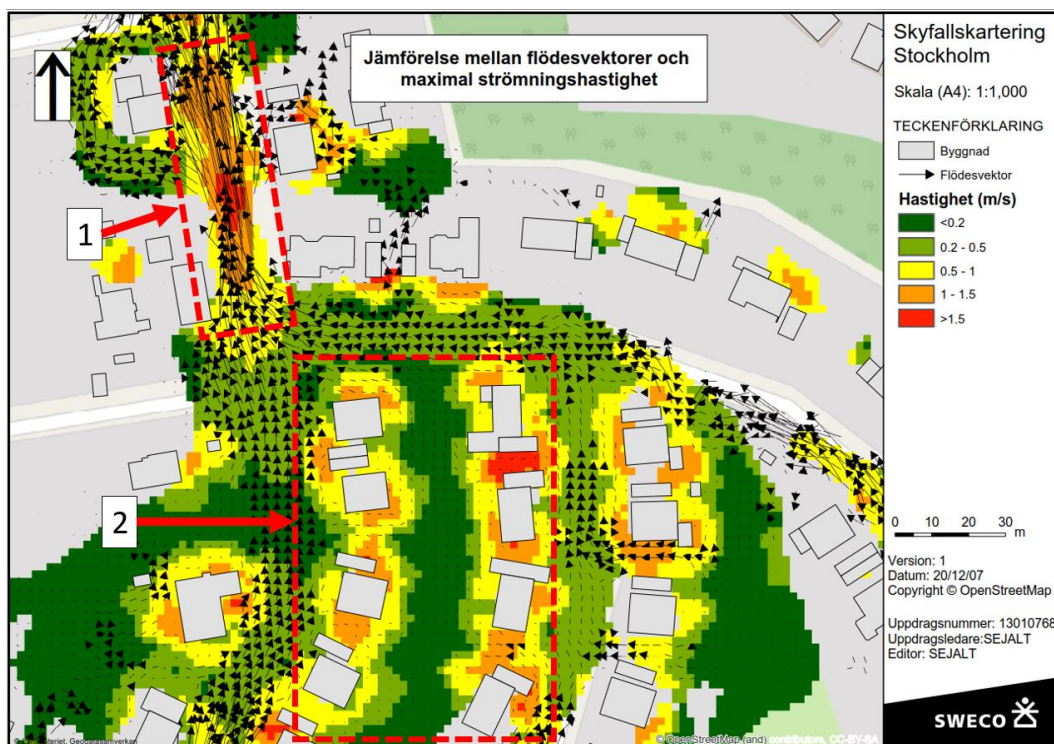
Ett beräkningsresultat som ofta är enklare att arbeta med i praktiken och som ofta ger mer omfattande och tillförlitlig information, är det maximala flödet. Detta resultatlager har inte ingått i detta projekts arbetsbeskrivning, men beskrivs kort under kapitel 6.

3.1.4 Flödesvektorer

Tidigare har det beskrivits hur resultatlagret som visar maximal flödes hastighet innehåller beräkningstekniska detaljer, vilket gör det svårtolkat då det dominerande flödesmönstret i ett område ska studeras. Ett tydligare och mer lättolkat resultatlager, som beskriver både vattnets riktning och strömningshastighetens storlek vid en given tidpunkt, är resultatlagret *flödesvektorer*.

Detta resultatlager visar *riktning* och *hastighet* för det dominerande flödesförloppet under en given tidpunkt; längden på en vektor är proportionerlig mot hastigheten. Resultatet visar en sammanhängande bild av hur vattnet rinner kort efter att den mest intensiva perioden i skyfallen passerat.

Flödesvektorerna ger generellt en mycket god beskrivning över flödesvägar inom skyfallskarteringen. De ger en tydligare och mer "renodlad" representation av de dominerande flödesvägarna inom det karterade området. För att illustrera detta visas i Figur 7 ett område där flödesvektorer är överlagrade resultatlagret för maximal flödes hastighet.

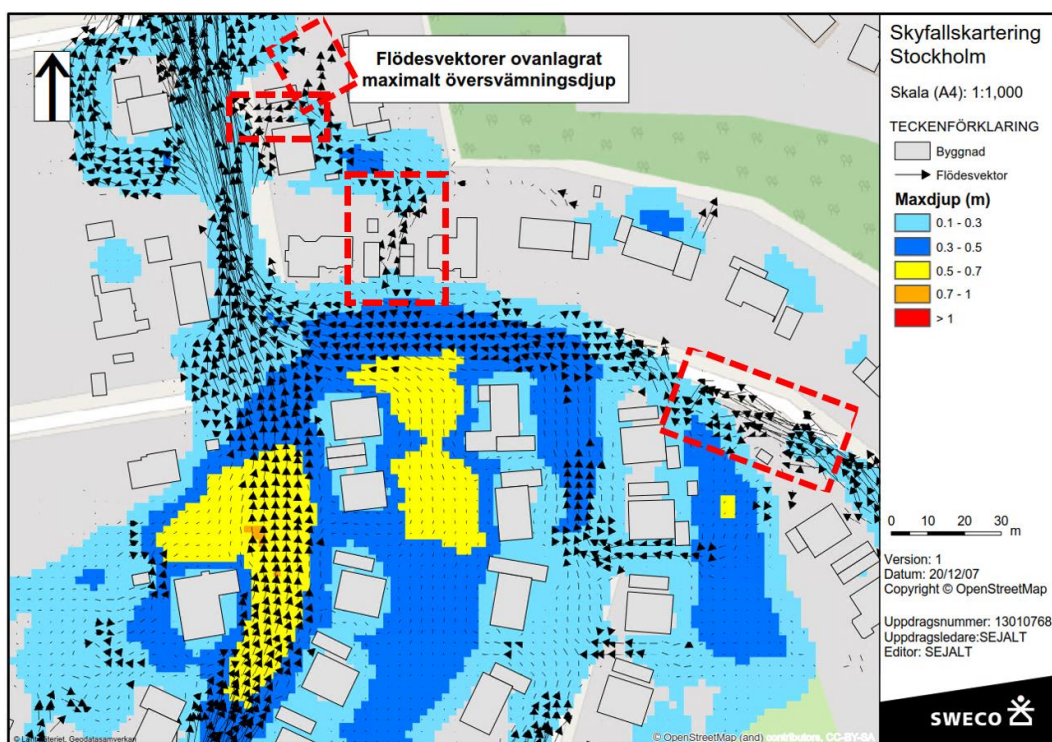


Figur 7. Detaljbild där flödesvektorer är överlagrade resultatlagret för maximal strömningshastighet. Längden på pilarna/strecken är proportionerlig för vattnets hastighet. Notera skillnaden mellan områdena markerade "1" och "2". Inom område 1 visar båda resultatlagren att vatten flödar med relativt hög hastighet. Inom område "2" visar flödesvektorerna låga hastigheter medan resultatlagret för maximal flödes hastighet visar relativt höga hastigheter nära byggnader.

Figuren visar tydligt de skillnader som kan uppstå mellan dessa två resultatlager. Resultatet för maximal flödes hastighet visar höga hastigheter både inom större rinnstråk (till exempel inom område "1") men även runt byggnader (till exempel inom område "2"). Flödesvektorerna visar dock endast relativt höga hastigheter inom område "1", vilket är mer representativt för flödesdynamiken i detta delområde.

Figur 8 visar en bild över samma område som Figur 7, men med maximalt vattendjup underlagrat flödesvektorerna. I denna figur har det markerats fyra områden som visar hur "filtreringen" av djup under 10 cm samspelar med flödesvektorerna.

Inom dessa fyra områden "rinner" flödesvektorer mellan "vattenkroppar". Mellan dessa "vattenkroppar" finns det egentligen djup under 10 cm enligt skyfallsmodellen. Dessa fyra områden visar att det är lämpligt att inte filtrera flödesvektorerna på samma vis som resultatlagren för maximalt vattendjup och flödes hastighet. Om så hade skett hade potentiellt viktiga rinnvägar inte kunnat urskiljas från resultatet.



Figur 8. Detaljbild där flödesvektorer är överlagrade resultatlagret för maximalt vattendjup. Längden på pilarna/strecken är proportionerlig för vattnets hastighet. De fyra inringade områdena visar områden där det maximala vattendjupet understiger 10 cm, men där en tydlig flödesväg är urskiljbar.

3.2 Specifik vägledning och tolkning av resultat

Då föreliggande skyfallskartering är översiktlig samt innehåller vissa bearbetningar och förenklingar jämfört med verkligheten, finns vissa begränsningar i hur karteringens resultatet kan användas. Ett område där större skyfallskarteringar ofta producerar icke tillförlitliga resultat är till exempel vid den så kallade modellranden och vid längre tunnlar, broar och viadukter. Detta kapitel beskriver hur dessa områden påverkar resultatet och hur de bör beaktas.

3.2.1 Resultat vid modellranden

Modellranden kan synonymt beskrivas som skyfallsmodellens "ytterkanter". För alla skyfallsmodeller måste ett geografiskt område definieras, inom vilket beräkningar ska utföras. Den linje som skiljer områden innanför och utanför skyfallsmodellen är modellranden, eller "ytterkanten".

En modellrand kan beräkningstekniskt beskrivas som en "vägg", det vill säga inget vatten kan rinna in eller ut över randen, eller med ett specifikt villkor såsom exempelvis ett specifikt flöde eller en viss vattennivå.

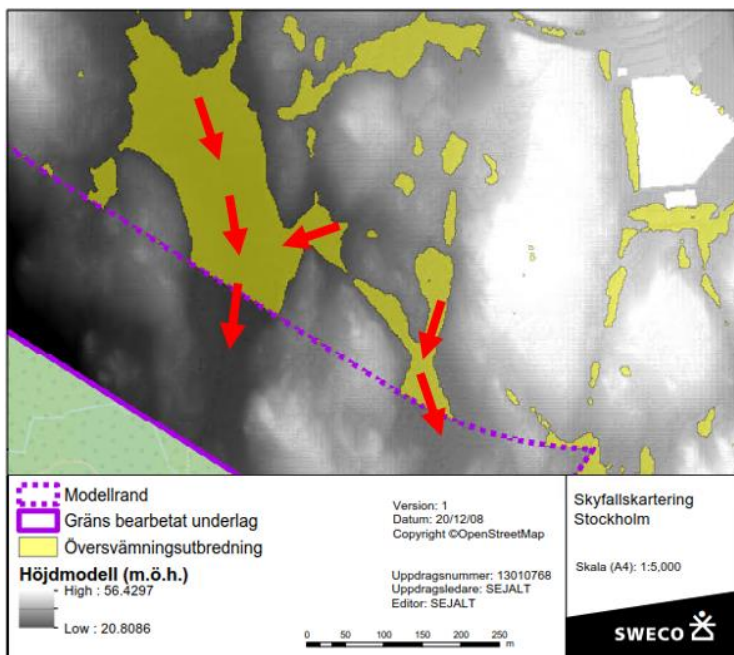
I denna skyfallskartering har modellranden alltid beskrivits med en konstant vattennivå där randen geografiskt befinner sig i havet. I alla andra områden har randen beskrivits som en "vägg". I nära anslutning till områden där randen beskrivs som en "vägg" uppstår ofta resultat som inte är representativa för verklig översvämningsrisk.

I aktuell skyfallskartering beror detta främst på två saker. Det ena är att modellranden dämmer flöde som topografiskt skulle rinna ut ur modellen och skapar större översvämningsyta än vad som är representativt. Ett exempel på detta visas i Figur 9.

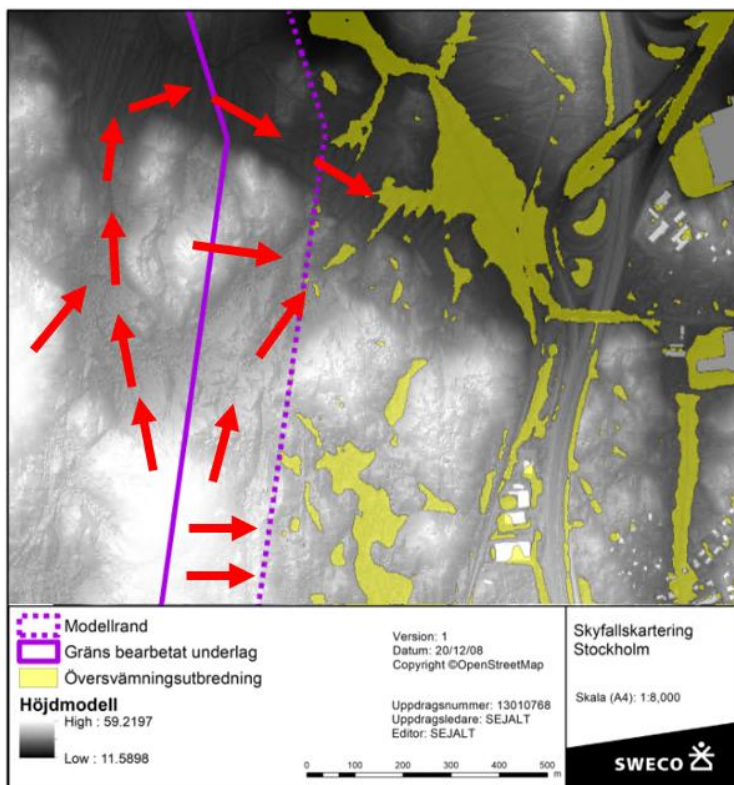
Det andra fallet då området nära modellranden uppvisar osäker tillförlitlighet är då randen "klipper av" ett avrinningsområde, det vill säga när terrängen utanför skyfallsmodellen i verkligheten leder vatten mot modellområdet. Detta medför att tillrinningen till modellen är lägre än i verkligheten, vilket resulterar i att översvämningsutbredningen generellt underskattas i dessa områden. Detta visas i Figur 10

Av ovanstående anledningar bör resultat som ligger i nära anslutning till modellranden generellt betraktas med försiktighet vid analys av översvämningsrisken. Modellranden ligger, som tidigare beskrivits, 500 m utanför tätortsgränserna.

Det går dock att, med relativ enkelt arbetsinsats, justera skyfallsmodellerna så att modellranden inte utgör ett område där icke tillförlitliga resultat uppstår. Sådana arbeten utförs lämpligen då behov uppstår. Se kapitel 4 för mer information om möjliga modelljusteringar.



Figur 9. Exempel från skyfallsmodellen där modellens rand skapar dämning då vatten inte kan rinna vidare i terrängen bortom randens gräns. Översvämningsytan som uppstår "innanför" randen i detta exempel är överskattad jämfört med den översvämnning som skulle uppstått i verkligheten. Röda pilar visar naturlig rinnväg i terrängen.



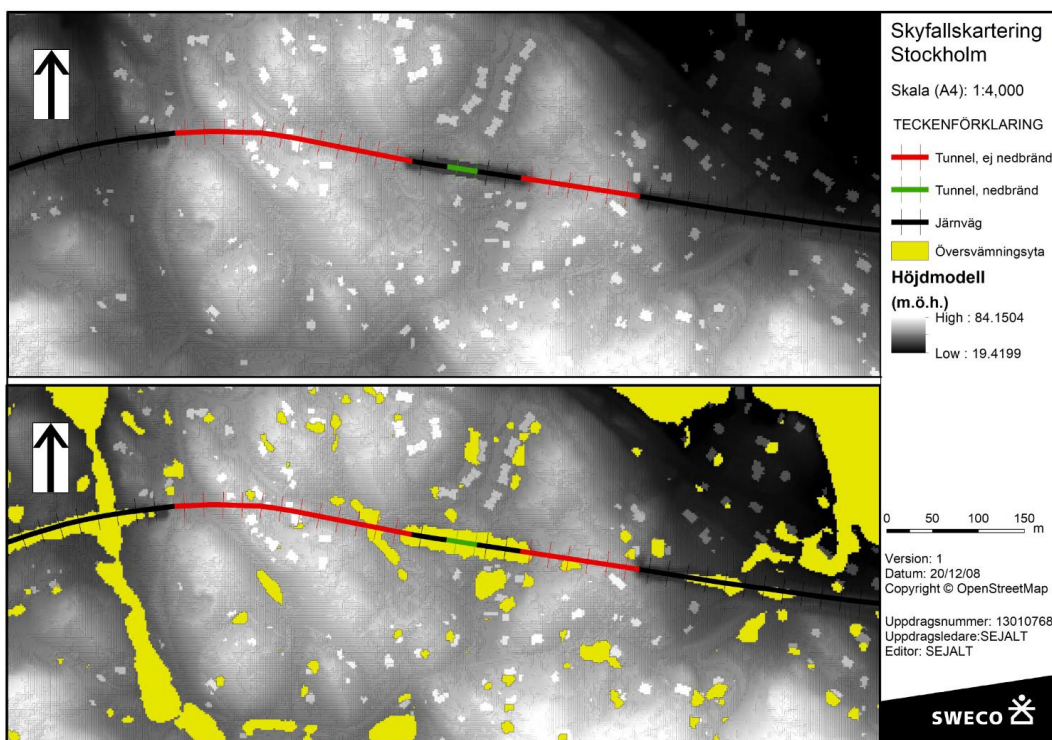
Figur 10. Exempel från skyfallsmodellen där modellen inte täcker in uppströms avrinningsområde. Detta medför att tillrinningen till skyfallsmodellen underskattas och översvämningsutbredningen underskattas vid och i närheten av modellranden. Röda pilar visar naturlig rinnväg i terrängen.

3.2.2 Resultat vid tunnlar

Skyfallsmodeller är mycket starkt beroende av högkvalitativ höjdinformation för att kunna beskriva översvämningsförloppet på ett bra sätt. Höjdmodeller innehåller dock alltid begränsningar i hur väl de beskriver markhöjder och särskilt *rinnvägar*. Till exempel måste höjdmodeller bearbetas för att markhöjd under en bro ska visas i höjdmodellen, vilket behövs för att beskriva rinnvägen under bron. Sådan bearbetning kallas ofta för *nedbränning*; man bränner ned broar för att istället representera marknivå under bron.

Samtidigt är det dock inte att rekommendera att längre tunnlar bränns ned, eftersom detta skulle medföra risk att vatten som rinner över mark ovanför tunneln istället rinner ned i en mycket lång och djup nedbränd "ränna".

I aktuell skyfallskartering har samtliga broar, tunnlar och viadukter under en viss längd bränts ned i höjdmodellen. Figur 11 visar ett exempel där tre tunnlar finns, men endast en av dessa bränts ned i höjdmodellen.



Figur 11. Exempel på tre tunnelsektioner längs en järnväg, där nedbränning skett för en av dessa (grön sektion) men inte de andra två längre sektionerna (röda sektioner).

Endast den mittersta (grön sektion) av tunnelarna bränns ned, då den understiger det längdmått som är villkor för nedbränning i höjdmodellen. Om de röda sektionerna skulle brännas ned hade de påverkat markavrinningen ovan tunneln på ett mycket tydligt och sannolikt felaktigt sätt.

Eftersom längre tunnlar inte bränns ned påverkas dock vattnets transport på så vis att vatten inte kan rinna *genom* tunneln. Detta kan medföra överskattad översvämningsyta uppströms tunneln och underskattad översvämningsyta nedströms tunneln.

I Figur 11 kan detta ses då en betydande översvämning uppstår mellan de tunnelsektioner som inte bränns ned. I verkligheten skulle detta vatten rinna genom tunnlar och en betydligt mindre översvämningsyta skulle då uppstå "mellan" tunnelsektionerna.

Detta är en begränsning i skyfallskarteringar av detta slag som inte går att undkomma. Däremot kan tunnlar enkelt läggas till i en skyfallsmodell genom ytterligare modelljusteringar. Sådana justeringar beskrivs översiktligt under kapitel 4.

3.2.3 Resultat vid broar och viadukter

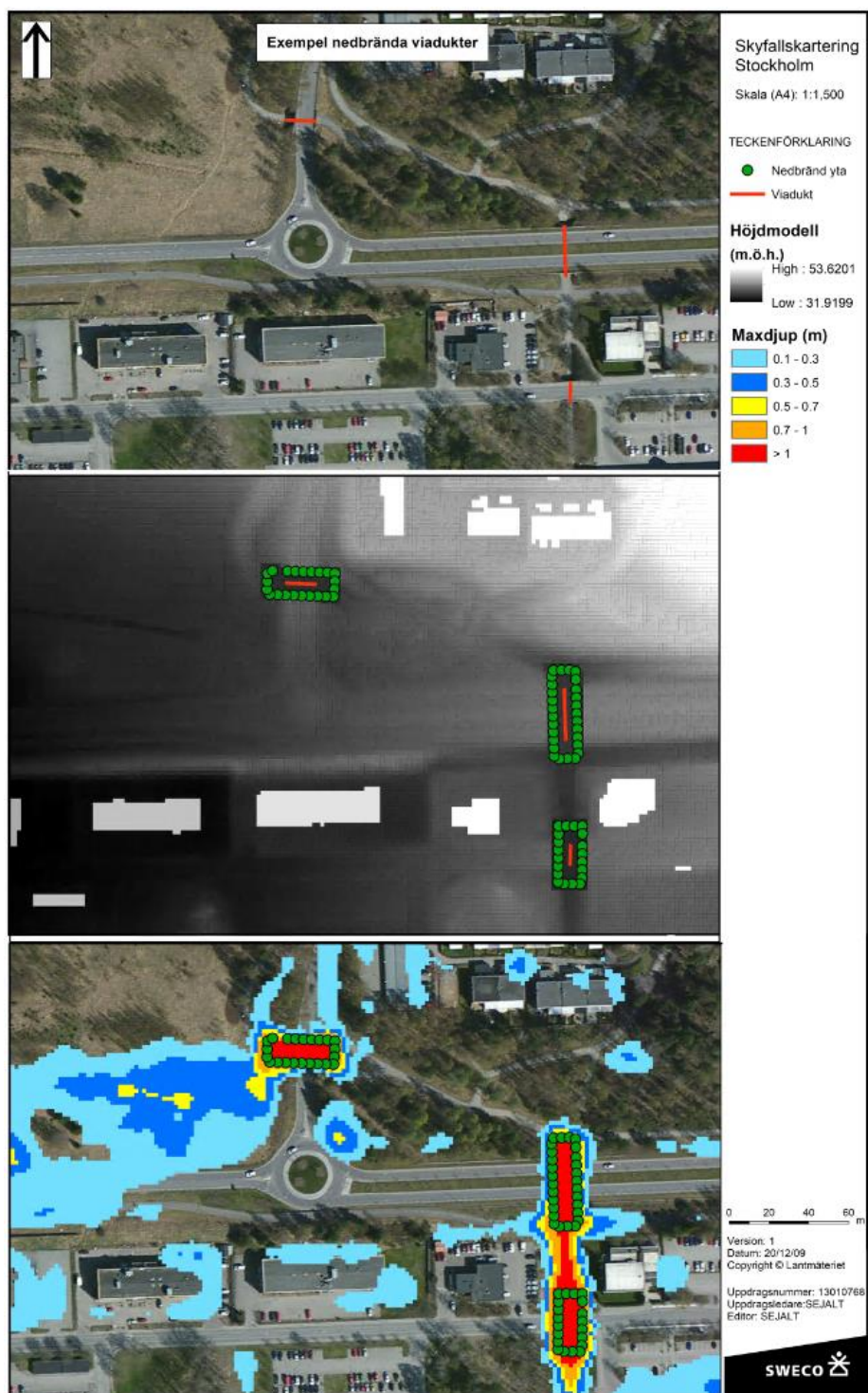
På samma vis som att kortare tunnlar bränns ned i höjdmodellen, har även broar och viadukter bränns ned.

Det är relativt vanligt förekommande att broar och viadukter redan är nedbrända till viss del i Lantmäteriets Nationella Höjdmodell. Långt ifrån alla sådana passager är dock nedbrända och de passager som väl har bränns ned är inte sällan delvis olämpliga för att fullgott beskriva vattentransport i en skyfallsmodell. För att säkerställa att skyfallsmodellen beskriver broar och viadukter som en öppen passage har sådana passager som understiger en viss längd bränns ned i höjdmodellen.

I Figur 12 visas ett område där tre viadukter för gång- cykelväg identifierats och bränns ned i höjdmodellen, för att säkerställa att den passage som definieras tillåter transport av vatten i skyfallsmodellen.

Vid nedbränning genomförs en analys över de höjdvärden som ligger innanför passagens yta. Det lägsta höjdvärdet inom ytan identifieras och ansätts istället för hela passagens yta; detta motsvarar "nedbränningen".

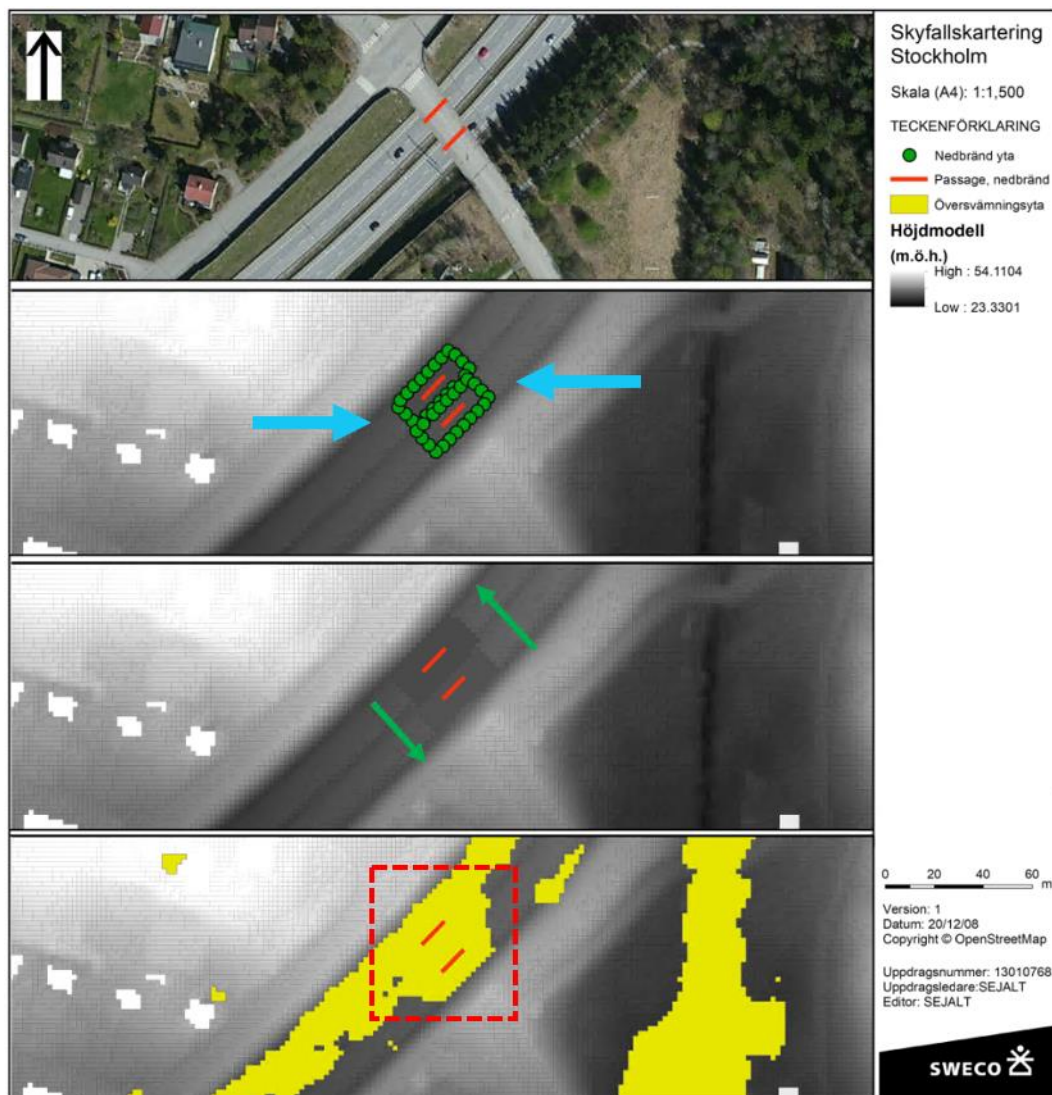
Skyfallsresultatet visar av denna anledning frekvent ett relativt stort djup i dessa passager, särskilt om passagen i verkligheten är en svacka (till exempel en gång-cykelväg som "dyker under en väg"). Detta illustreras i Figur 12 där större "röda" djup uppstår i passagerna.



Figur 12. Exempel på tre gång- cykelviadukter som bränts ned i modellen. Då nedbränningen medför att höjdmödeln sänks uppstår ett betydande djup i viadukten vid skyfall.

Huvudsyftet med nedbränningen av passager är att säkerställa att viadukter och andra passager under broar beskriver vattnets rinnväg genom/under dessa strukturer.

I ett antal fall har broar över större motorleder medfört att motorledernas "passage" under dessa broar bränts ned till något för stor omfattning. I vissa fall medför detta att mindre lokala områden påverkas och kan uppvisa överskattad översvämningsomfattning. Detta visualiseras med ett exempel i Figur 13.



Figur 13. Nedbränning av motorledens passage under den mindre vägbron (se röda linjer) medför att aktuell vägsektion bränns ned inom ett område (se gröna punkter) där lägsta höjdnivå hämtas från vägdikena vid sidan om motorleden (se blå pilar). Detta medför att vatten kan passera tvärs över motorleden (se gröna pilar) och en överskattad översvämningsyta uppstår (se röd streckad polygon).

I det aktuella exemplet "hämtas" lägsta nivå som används för nedbränning från vägdiken vid sidan av motorleden, vilket medför att en nedsänkt passage öppnas upp tvärs över motorleden. Detta leder till en överskattad översvämningsyta inom det omedelbara närområdet.

De över- eller underskattade översvämningsytor som uppstår på grund av tekniska begränsningar i metodik och förutsättning bedöms vara blygsamma och inte vara något som påverkar översvämningskarteringen i stort. Däremot kan de, som beskrivits, medföra påverkan på en lokal skala.

4 Praktiska användningsområden av skyfallskarteringen för offentlig och privat sektor

Skyfallskarteringen som genomförts är översiktlig såtillvida att den inte i detalj inkluderar särskilda lokala förekomster som kan påverka översvämningsrisken; det finns inga områden som detaljstuderats i karteringsarbetet. Det faktum att dagvattenledningsnätet inte är inkluderat annat än som ett schablonavdrag medför även att ytterligare begränsningar i karteringsresultatets tillförlitlighet uppkommer.

Av dessa anledningar lämpar sig resultatet från aktuell skyfallskartering främst för utredningar av mer översiktlig natur eller utredningar i tidiga skeden. Nedan beskrivs ett urval av utredningar som är särskilt lämpade att utföra med skyfallskarteringen som grund. Det beskrivs även hur man kan genomföra detaljerade utredningar genom att vidareutveckla skyfallsmodellerna.

4.1 Översiktliga utredningar

Skyfallskarteringen är särskilt lämpad för att användas som underlag till utredningar i tidiga skeden. Sådana utredningar kan inkludera till exempel Översiktsplaner, Fördjupade Översiktsplaner eller Detaljplaner och Systemhandlingar i tidigt skede.

Karteringsresultatet är mycket väl lämpat att använda för att lokalisera områden där översvämning från skyfall kan utgöra en riskfaktor. Sådan riskkartering kan användas för att genomföra analys av framkomlighet för räddningstjänst, påverkan på samhällsviktig verksamhet, ekonomisk skaderisk för fastigheter och egendom, inledande klimatanpassningsstrategi, underlag till risk- och förnyelseplanering för VA, med mera.

Även förstudier och lokaliseringsstudier för till exempel nya industri- och verksamhetsområden, järnvägar och vägar drar god nytta av föreliggande skyfallskartering.

4.2 Detaljerade utredningar

Det framtagna karteringsresultatet är generellt mindre lämpligt att använda som beslutsunderlag i detaljerade utredningar såsom till exempel detaljprojektering av fastigheter och infrastruktur, vid större ekonomiska beslut rörande klimatanpassning på en mer detaljerad nivå, med mera. Istället kan man vid detaljerade utredningar använda de framtagna skyfallsmodellerna och vidareutveckla dessa utefter sina behov.

Skyfallsmodellerna har tagits fram med en metodik som gör att de med enkelhet kan förädlas och göras mer detaljerade, för att anpassas till alla typer av utredningsbehov. Nedan beskrivs i korthet ett urval av detaljerade utredningar som kan genomföras genom att addera detaljgrad till skyfallsmodellerna.

4.3 Exempel hur föreliggande skyfallskartering kan användas i planer och exploateringsprojekt

Inom detta delkapitel beskrivs översiktligt hur skyfallskarteringen kan användas inom ett urval av teknikområden och projekt. Beskrivningarna är generella och ämnar ge översiktlig vägledning i hur arbete med klimatanpassning och skyfallsutredning kan bedrivas. Det ingår även en enkel beskrivning i hur man kan vidareutveckla skyfallsmodellen som levererats inom aktuellt projekt för att utföra mer detaljerade utredningar.

4.3.1 Översiktsplaner och Lokaliseringsstudier

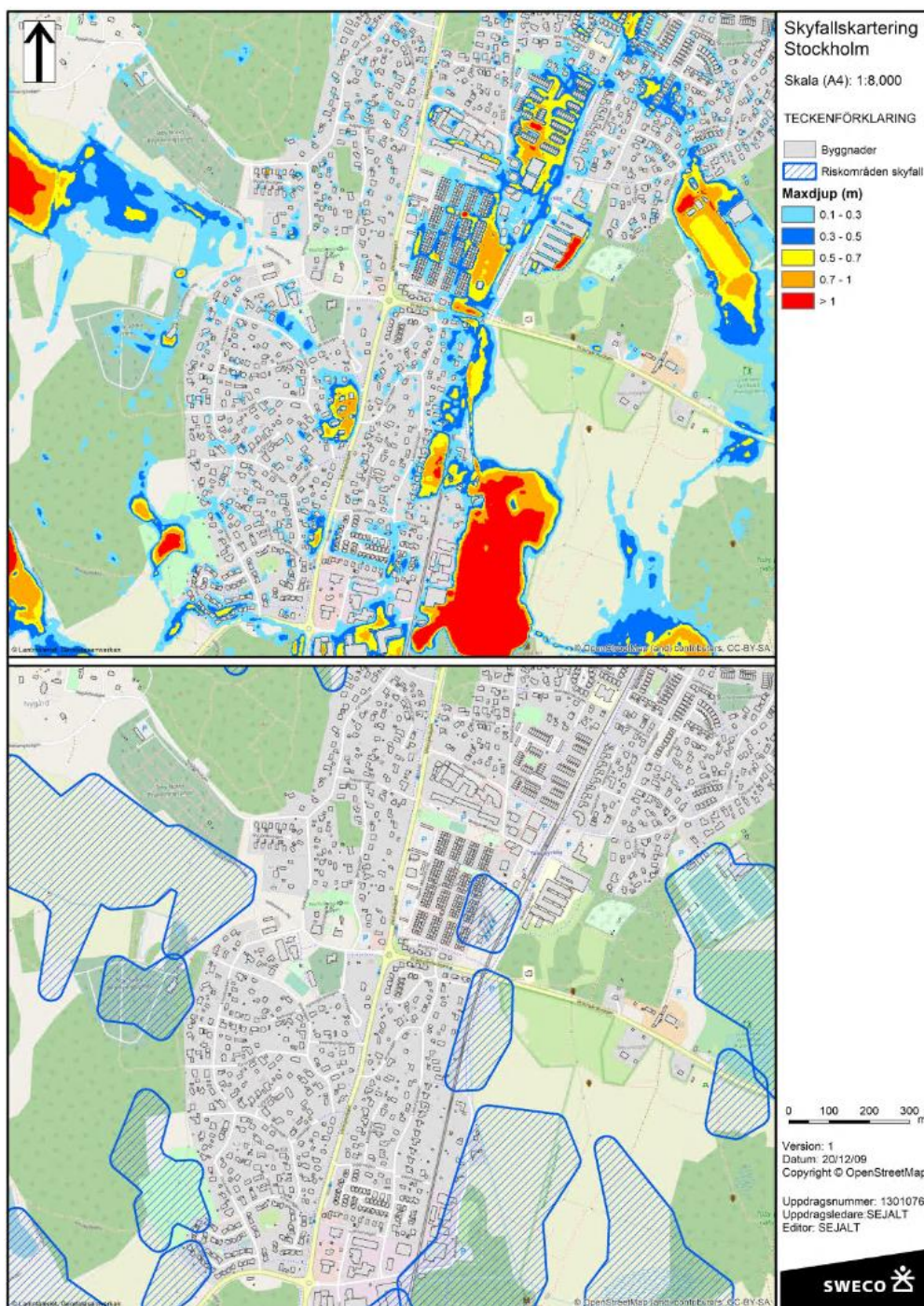
Inom tidiga skeden med arbeten för *Översiktsplaner* och *Lokaliseringsstudier* är översvämningsrisk ett område som ska ingå i planarbetet, för att undvika ökade kostnader för klimatanpassning och negativ inverkan på framtida exploateringsekonomi.

Skyfallskarteringen kan till exempel initialt användas för översiktliga lokaliseringstudier av lämpliga nya exploateringsområden. Skyfallsrisken kan enkelt visualiseras i GIS-mjukvara och områden noteras som är olämpliga för urbanisering eller samhällsviktig infrastruktur. Figur 14 visar ett fiktivt exempel på hur sådana GIS-lager kan nyttjas för enkel visualisering och förståelse i planprocessen.

Då arbetet med dessa arbeten går in i senare skeden kan en mer fördjupad analys av *områdespåverkan* utföras, för framförallt planområden som utpekats som lämpliga för exploatering.

Begreppet *områdespåverkan* innefattar, då man diskuterar skyfall, den negativa eller positiva påverkan som till exempel ett exploateringsområde har på sin omgivning. En negativ områdespåverkan innebär att översvämningsrisken ökar för kringliggande fastigheter till följd av den planerade exploateringen, medan en positiv områdespåverkan medför att översvämningsrisken reduceras.

Omvänt kan även skyfallskarteringen naturligtvis lika väl även användas för att lokalisera områden som är *lämpliga* för användning som översvämningsytor då detta utreds.



Figur 14. Fiktivt exempel på hur riskområden för skyfall enkelt kan visualiseras för arbete med tidiga planskeden. Blå randiga polygoner indikerar geografiska områden där översvämning från skyfall riskerar att påverka exploateringsekonomi negativt.

För att översiktligt undersöka omfattningen på områdespåverkan i ett tidigt planskede behöver enklare justeringar utföras till skyfallsmodellen.

Nedan följer ett kort exempel på hur områdespåverkan snabbt kan uppskattas då en lokaliseringstudie närmare undersöker lämpligheten av ett antal intressanta områden.

Utredningsexempel; områdespåverkan vid lokaliseringsstudie

Genom att studera den befintliga skyfallskarteringen har fem områden identifierats, vilka är lämpliga för exploatering av en ny verksamhet. Områdespåverkan är viktigt att undersöka innan beslut kan tas om områden att gå vidare med, då stor områdespåverkan kan kräva kostsamma kompensationsåtgärder. Den befintliga skyfallsmodellen justeras för att definiera områdespåverkan översiktligt:

- *De geografiska områden som är av intresse höjds upp i skyfallsmodellens höjdmödel för att representera exploaterade förhållanden där översvämning inte uppstår inom planområdet.*
- *Skyfallsmodellens underlagsfiler för infiltration och strömningsmotstånd modifieras för att representera den nya markanvändningen.*
- *Schablonavdrag för dagvattenledningsnät görs till nederbördsbelastningen i omfattning som är passande för aktuellt område.*
- *Skyfallsmodellen körs igen med införda justeringar.*
- *Resultatet från den nya beräkningen subtraheras från det ursprungliga resultatet, vilket motsvarar omfattningen på områdespåverkan för exploateringen.*

Beräkning av områdespåverkan kan genomföras för alla potentiella områden inom en och samma modellberäkning, om dessa områden ingår i skyfallsmodellens geografiska område.

4.3.2 Detaljplan och Systemhandling för verksamhetsområde utanför stadsmiljö

Vid arbete med detaljplan och systemhandling för ett specifikt exploateringsområde eller fastighet utanför befintlig bebyggelse kan skyfallsmodellen användas för att kontrollera att både översvämningensrisken för området samt områdespåverkan är acceptabel.

Skyfallsmodellen används med fördel under projekteringsarbetets gång för att kontrollera att arbetet med gestaltning och höjdsättning av gata, kvarter, park med mera utförs på ett vis som inte skapar för stor översvämningensrisk inom och utanför projektområdet.

Samtidigt kan ytor som är lämpliga för översvämningshandling identifieras och ingå i arbete med till exempel gestaltning och parktytor.

Ett översiktligt exempel på hur skyfallsmodellen kan användas och uppdateras under arbetet med en specifik detaljplan utanför befintlig bebyggelse visas nedan. Exemplet utgår från ett något större exploateringsområde som innehåller ett flertal kvarter.

Utredningsexempel; säkerställa god utformning av detaljplaneområde sett till skyfallsrisk.

Konsekvensen vid skyfall för befintliga förhållanden, innan exploatering, är redan känd då resultat finns från den befintliga skyfallsmodellen. Genom analys av befintlig skyfallskartering kan det i grova drag framarbetas en plan för hur markhöjder inom projektområdet kan anpassas för att minimera översvämningensrisk samt risk för områdespåverkan.

Arbete med gestaltning och struktur för projektområdet påbörjas, där projektgruppen är införstådd med skyfallsrisken och dess potentiellt betydande ekonomiska påverkan på exploateringsekonomin.

Inledande grova gestaltningsförslag, där generella höjdförhållanden, kvartersstrukturer och markplan finns föreslagna, kan mycket tidseffektivt läggas in i skyfallsmodellen för att genomgå en konsekvenskontroll. Sådana kontroller är särskilt lämpliga för att identifiera gestaltnings- och höjdsättningsförslag som är olämpliga sett till risk för översvämning och områdespåverkan och som skulle kunna medföra kostsamma klimatanpassningsåtgärder för projektområdet.

Allt eftersom arbetet med detaljplanen fortskrider kan uppföljande beräkningar utföras då "vägval" övervägs. Slutligen kan en sista beräkning utföras för den färdiga höjdsättningen och kvarterstrukturen. Denna slutliga kartering utgör underlag till tillsynsmyndighet där både översvämningensrisk och områdespåverkan mycket tydligt kan presenteras.

Skyfallsmodellering enligt ovan schematiska tänk utförs lämpligen framförallt för att:

- *Reducera kostnader för arbete med plan- och systemhandling. Genom att tidigt med enkla insatser påvisa potentiella risker och*

problem som kan medföra stor ekonomisk påverkan på exploateringsekonomin, kan revideringar utföras i tidiga skeden.

- *Reducera slutlig kostnad för exploaterings genomförande. Genom att iterativt undersöka översvämningsrisk och områdespåverkan kan effektiva åtgärder tidigt arbetas in i systemhandling. Detta medför lägre risk för mycket kostsamma lösningar som måste tas fram i sena skeden då stora delar av gestaltning och markförhållanden för till exempel gata och park är låsta.*
- *Säkerställa god framdrift i projektering. Genom att tidigt fånga upp potentiella problem i projekteringen minskar risken för att större omtag och sena anpassningar måste ske. Sådana sena ändringar är kostsamma och kräver ofta mycket tid, både sett till arbetstimmar och kalendertid.*

I ovan utredningsexempel kan skyfallsmodellen ofta användas som enda utredningsverktyg, då exploatering sker utanför befintlig bebyggelse. Design av till exempel dagvattenledningsnät kan ofta utföras helt separat efter standardiserade metoder, särskilt i de fall då omgivande mark inte leder vatten in i aktuellt projektområde. Ledningsnätet kan ofta beaktas i skyfallsmodellen genom lämpliga schablonavdrag såsom befintlig skyfallskartering gjort. För exploatering i befintlig stadsmiljö krävs dock ofta en något mer detaljerad utredningsmetod.

4.3.3 Detaljplan och Systemhandling för exploateringsområde inom stadsmiljö

Då exploatering sker inom eller i utkanten av befintlig stadsmiljö krävs ofta något mer detaljerade utredningar för att utreda skyfallsrisk och områdespåverkan samt för att projektera till exempel dagvattenledningsnät.

Då exploatering sker i befintlig stadsmiljö ökar risken för betydande negativ områdespåverkan, då en förvärrad översvämningsrisk, orsakad av exploateringsområdet, sannolikt medför betydligt större ekonomisk konsekvens jämfört med om exploatering sker i obebyggt område.

Det är även mer komplicerat att exploatera i stadsmiljö, då projektet måste förhålla sig till kringliggande mark och infrastruktur på ett tydligare vis. Projektområdet rör ofta inte över flera bidragande faktorer såsom hur och var man kan koppla in sig på dagvattenledningsnätet, hur man kan avleda skyfallsvatten då gatuanslutningar måste ske, etcetera.

Vid arbeten i befintlig stadsmiljö är det ofta lämpligt att använda så kallade *kopplade beräkningsmodeller* som verktyg. En sådan modell kombinerar till exempel en skyfallsmodell med en ledningsnätmodell, vilket ger möjlighet att på ett mycket detaljerat vis beskriva översvämningsdynamiken.

En kopplad beräkningsmodell kan inom dessa projekt bland annat användas för att:

- Designa dagvattenledningsnätet inom projektområdet för att säkerställa att ledningsnätet uppfyller gällande krav.
- I detalj beskriva hur projektområdet påverkas av kringliggande stad.
- I detalj beskriva projektområdets områdespåverkan på både dagvattenledningsnätet och marköversvämning i kringliggande stad.
- I detalj iterativt studera olika gestaltungs-förslag, kvartersstrukturer och höjdsättningar för vägar och park för att optimera balansen mellan exploateringsekonomi, gestaltning, områdets funktion med mera.

Nedan följer ett kort utredningsexempel.

Utredningsexempel; utforma dagvattenledningsnät och markförhållanden för exploateringsområde inom befintlig stadsmiljö

Exploateringsområdet påverkas av kringliggande stad vad gäller markhöjder, dagvattenledningsnät och stadsbild. Projektet har begränsad möjlighet att i detalj bestämma utformningen av vägar och kvarterstruktur i anslutning till befintlig stad. Existerande fastigheter som ska behållas inom projektområdet, såsom kulturhistoriskt värdefulla byggnader, kräver att området anpassas efter dessas förhållanden.

Risken för översvämning från skyfall inom området styrs bland annat av hur tillrinningen till området ser ut, möjligheterna att leda bort vatten över mark, befintlig kapacitet i existerande dagvattenledningsnät och befintliga markförhållanden inom projektområdet.

Exploateringsekonomi för projekt inom befintlig stadsmiljö har en stark koppling till arbetet med översvämningensrisk. Markarbeten är komplicerade och dyra att genomföra och måste anpassas till kringliggande infrastruktur, men även ofta infrastruktur under mark inom projektområdet såsom VA-ledningsnät, fjärrvärme med mera. Arbeta med ledningssamordning kräver ofta betydande resurser inom dessa typer av projekt.

Arbete med att designa projektområdets dagvattenledningsnät samt att översiktligt utreda lämpliga markförhållanden kan bedrivas separat initialt. Områdespåverkan kan översiktligt bedömas i tidiga skeden genom att lägga in enklare representationer av nya markförhållanden och dagvattenledningsnät, för att reducera risk för kostsamma kompensationsåtgärder i senare skede.

Allt eftersom arbetet med projektering fortskrider sammankopplas ledningsnätmodellen och skyfallsmodellen och konsekvensbedömningar genom uppdaterade modellberäkningar genomförs. I och med detta underlättas kommunikation med externa sakägare och tillsynsmyndigheter

avsevärt, då projektet ligger i framkant i arbetet med klimatsäkring och områdespåverkan och tydligt kan påvisa förebyggande arbete.

De uppdaterade modellberäkningarna kan utföras mycket tidseffektivt, om det från början är känt att så ska göras. Då kan nämligen effektiva rutiner för att omvandla projekterat underlag till modellformat användas, vilket ofta medför stora tids- och kostnadsbesparingar.

Beräkning för det slutligt projekterade materialet genomförs och kan användas som utförlig konsekvens- och områdespåverkansbeskrivning.

En mycket stor fördel med att använda dessa kopplade beräkningsmodeller är att ett stort antal intressenter och sakägare kontinuerligt kan få detaljerade och tillförlitliga svar på frågor som rör exploateringsprojektet, bland annat:

- Tillsynsmyndigheter får ett mycket gott underlag gällande områdespåverkan och klimatrisk.
- VA-huvudman kan tydligt se hur kringliggande dagvattenledningsnät påverkas samt hur ledningsförnyelse kan utföras för att beakta exploateringsområdets bidragande flöde.
- Sakägare i tillståndsprocessen får tydlig information rörande arbete med klimatsäkring och områdespåverkan, vilket har positiv effekt på projektets framdrift.
- Räddningstjänst kan utvärdera framkomlighet vid översvämning.
- Exploatörer och byggherrar kan tidigt ombesörja lösningar för särskilt prioriterade delar av exploateringsområdet för att reducera genomförandekostnader, vilket leder till ger högre avkastning.

För att kunna upprätta en kopplad beräkningsmodell krävs dock en signifikant investering i form av att en ledningsnätmodell upprättas. En sådan har dock många nyttor och kan användas till ett stort antal utredningar, utöver exploateringsprojekt.

4.3.4 VA-utredningar

Skyfallskarteringen kan i nuvarande utförande användas som ingående komponent för mer detaljerade studier för vissa VA-utredningar. Till exempel kan förnyelseplaner använda skyfallskarteringsresultat som underlag för att utreda konsekvenser av mycket stora regn.

För detaljerade studier där förnyelsearbete planeras finns dock ett väl motiverat behov för att använda den tidigare beskrivna kopplade beräkningsmodellen som metod, inom framförallt stadsmiljö.

Inom stadsmiljö ställs höga krav då nya dagvattenledningar planeras. Svenskt Vatten rekommenderar att sådana ledningar i grunden dimensioneras för återkomsttid till upp

emot 30 års återkomsttid inklusive klimatfaktor, beroende på vart de planeras. En ledningsnätmodell är ensam inte kapabel att beskriva översvämningsdynamik inom städer för större nederbördshändelser på ett tillförlitligt vis, eftersom marktransport inte kan beskrivas. Av denna anledning erfordras att en kopplad beräkningsmodell, som inkluderar en skyfallsmodell, används för att beskriva belastningen på dagvattenledningsnätet från marköversvämning och -transport.

Ett exempel på hur en kopplad beräkningsmodell kan användas för långsiktig förnyelseplanering beskrivs nedan.

Utredningsexempel; Långsiktig dimensionsplan för dagvattenledningsnätet

Befintlig skyfallsmodell används för att beskriva nuvarande markförhållanden och bebyggelse. Denna modell kopplas ihop med en dagvattenledningsmodell som tagits fram av till exempel VA-huvudman, för att erhålla en kopplad beräkningsmodell. Befintlig skyfallsmodell är redan anpassad för att kunna kopplas ihop med en ledningsnätmodell utan behov av justeringar.

En kapacitets- och konsekvensutredning utförs, där analys över ledningsnätets kapacitet och konsekvens vid översvämning kontrolleras.

Modellen används för att ta fram en förnyelseplan för befintliga ledningar för att säkerställa att VA-huvudmans ansvar efterföljs. Resultatet inkluderar en färdig dimensionsplan som möjliggör att beslut om till exempel ledningsförnyelse kan ske mycket snabbt. Detta ger möjlighet att uppnå stora kostnadsbesparingar då ledningsförnyelse kan samordnas med andra markarbeten såsom gatuarbeten, eftersom beslut om utbyte av ledningar kan ske utan betydande arbetsinsats och med vetskap att den ledning som byts ut får en lämplig dimension.

Då dimensionsplan för befintliga ledningar är färdigställd kan även en plan för längre tidshorisont tas fram. Till exempel kan Fördjupad Översiktsplan (FÖP) ligga till grund för beskrivning av framtida översvämningsrisk och belastning på dagvattennätet. Beräkningsmodellerna kan då justeras för att inkludera full utbyggnad av FÖP-områden och klargöra hur dimensionering måste ske på lång sikt för att möjliggöra klimatsäkring för framtida förhållanden i aktuell tätort eller område.

Sådant material kan även ingå i långsiktiga budgetanalyser över VA-huvudmannens verksamhet, då det påvisar investeringsbehov för att hålla god takt i stadsutveckling.

VA-huvudmans ansvar för ledningsnät är även starkt sammankopplat med klimatanpassning av städer i ett större perspektiv, då dagvattenledningsnätet är en nyckelkomponent i åtgärdsarbeten för att reducera översvämningsrisker.

4.3.5 Klimatanpassning för infrastruktur och bebyggelse

För klimatanpassning och arbeten med översvämningsreducerande åtgärder generellt, fyller befintlig skyfallsmodell en god funktion. I befintligt utförande är modellen väl lämpad för att påbörja översiktliga analyser för anpassning för skyfall och stigande havsnivåer. Med mycket små justeringar kan befintlig skyfallsmodell även användas för att beskriva konsekvenser av extrema nivåer i sjöar, där så är aktuellt.

Skyfallsmodellen är uppbyggd med en metod som gör att den inte behöver genomgå några korrigeringar för att kopplas ihop med en ledningsnätsmodell över dagvattennätet. Detta ger goda förutsättningar att utföra detaljerade utredningar kring nödvändiga investeringar i ledningsförnyelse och andra åtgärder för att reducera översvämningsrisk för befintliga men även planerade områden.

Effekt av översvämningskydd för kustområden och områden runt sjöar och vattendrag kan utredas genom enklare justeringar i antingen höjdmmodell eller skyfallsmodell.

För detaljerade klimatanpassningsutredningar, då kostnader behöver kunna beräknas för olika klimatanpassningsåtgärder, är det att rekommendera att öka detaljeringsgraden i skyfallsmodellen samt koppla samman denna med ledningsnätsmodell och eventuellt vattendragsmodell. Skyfallsmodellen innehar en stor flexibilitet som gör att den kan anpassas till att utföra de mest detaljerade typerna av översvämningsstudier som idag utförs i praktiken.

Vid klimatanpassningsarbete är det av mycket stor vikt att beräkna den samhällsekonomiska nyttan och den totala riskkostnaden. Detta betyder att inte enbart översvämning från skyfall utan också från sjö, vattendrag och hav behöver redovisas. Översvämning från dessa olika "källor" styrs av olika företeelser, vilket betyder att återkomsttiden för översvämningskada inom ett visst område kan variera mycket kraftigt. Ett förtydligande exempel på detta beskrivs nedan.

Utredningsexempel; Klimatanpassning av samhällsviktiga funktioner nära ett vattendrags utlopp i havet

En stadsdel nära havet är utsatt för översvämningsproblematik från både nederbörd, höga flöden i vattendrag och höga havsnivåer.

Genom beräkningar av översvämningsrisk från skyfall, höga flöden i det närliggande vattendraget samt höga havsnivåer har översvämningsituationen studerats noggrant.

Det har konstaterats att klimatsäkring med skalskydd av tre samhällsviktiga objekt måste utredas.

Först behöver riskskadekostnaden bedömas. För dessa tre objekt gäller följande:

Objekt A – Stadens sjukhus översvämmas vid skyfall med 50 års återkomsttid.

Objekt B – Stadens brandstation översvämmas vid höga flöden i vattendrag med 100 års återkomsttid och vid höga havsnivåer med 200 års återkomsttid.

Objekt C – Stadens järnvägsstation översvämmas från skyfall med 100 års återkomsttid, höga flöden i vattendrag med 100 års återkomsttid och höga havsnivåer med 100 års återkomsttid.

Den sammanvägda statistiska återkomsttiden för att de olika objekten skadas från översvämning blir då:

Objekt A; En gång vart 50:e år.

Objekt B; En gång vart 67:e år (på 200 år översvämmas objektet en gång från vattendrag och två gånger från havsnivå).

Objekt C; En gång vart 33:e år (på 100 år översvämmas objektet en gång från skyfall, vattendrag och havsnivå).

Genom att identifiera skadekostnaden för dessa återkomsttider, kan en riskkostnad beräknas, och även kostnaden för samhällsekonomiskt lönsam investering i klimatsäkring via skalskydd bestämmas.

Skyfallsmodellen kan, som beskrivits, användas till ett mycket stort antal utredningar. Resultatet från skyfallsmodellen kan även visualiseras och presenteras på en rad olika vis, för att anpassas efter individuella projekt och/eller målgrupper. I efterföljande kapitel visas ett antal alternativa visualiseringsmetoder, jämfört med vad som tidigare redovisats i denna rapport.

5 Alternativ för visualisering av skyfallskartering

Att visualisera resultat från en skyfallskartering kan behöva göras för många olika målgrupper och forum, där det ofta ställs olika krav på visualiseringen beroende på syftet. Nedan följer ett par exempel på visualiseringsmöjligheter utöver 2D-visualisering såsom använts i denna rapport.

5.1 3D-visualisering i GIS-mjukvara

Det är enkelt att i vissa GIS-mjukvaror byta mellan en visualisering i 2D till 3D. 3D-visualisering kan vara särskilt lämpligt för att skapa förståelse för gestaltning och landskapsbild, samtidigt som man påvisar översvämningsrisk.

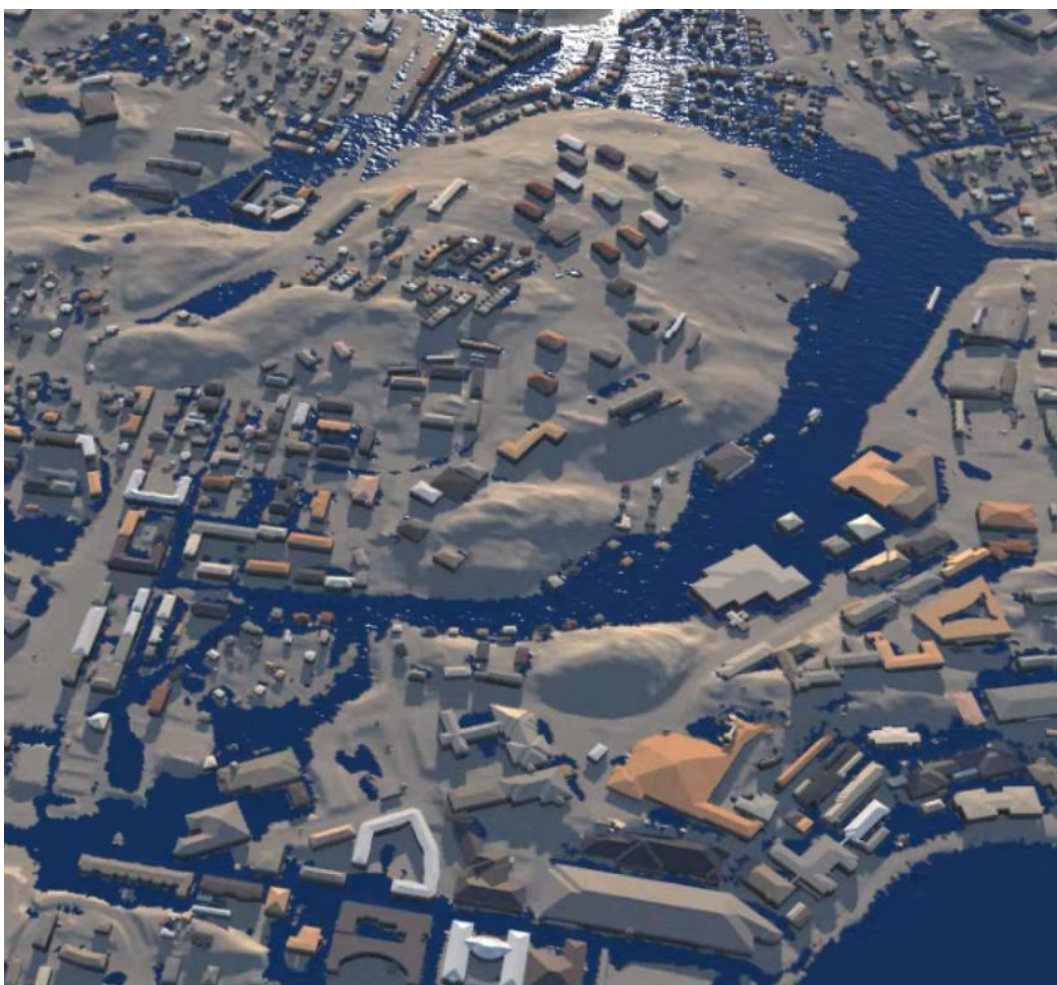
3D-visualisering i GIS ger många fördelar då geodata snabbt kan kombineras för att öka förståelse för översvämningsomfattning. I exemplet nedan i Figur 15 har byggnader från fastighetskartan som är listade som samhällsfunktion markerats som gula byggnader, vilket är lämpligt till exempel för att analysera effekt på samhällsviktig verksamhet under skyfall.



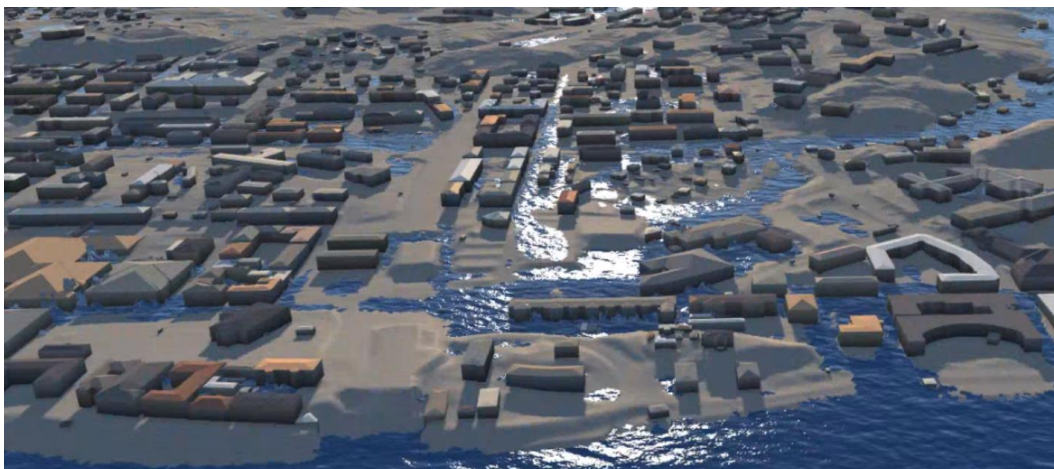
Figur 15. 3D-visualisering i GIS-mjukvara. Skyfallsresultat från aktuell kartering. Ortofoto © Lantmäteriet.

5.2 3D-visualisering i CAD-mjukvara

3D-visualisering kan även utföras i till exempel CAD-mjukvara, vilket kan vara särskilt lämpligt i projekt där projekteringsarbeten utförs, såsom detaljplaner och systemhandlingar. Visualisering i CAD-mjukvara möjliggör illustration av översvämningsrisk tillsammans med projekterat underlag på ett snabbt sätt. Det är även enkelt att anonymisera ett område och samtidigt på ett bra vis visualisera terräng och byggnader, för att öka fokus på det man vill belysa. Se Figur 16, Figur 17 och Figur 18 för exempel.



Figur 16. Exempel på visualisering i CAD-mjukvara. Skyfallsresultat från aktuell kartering.



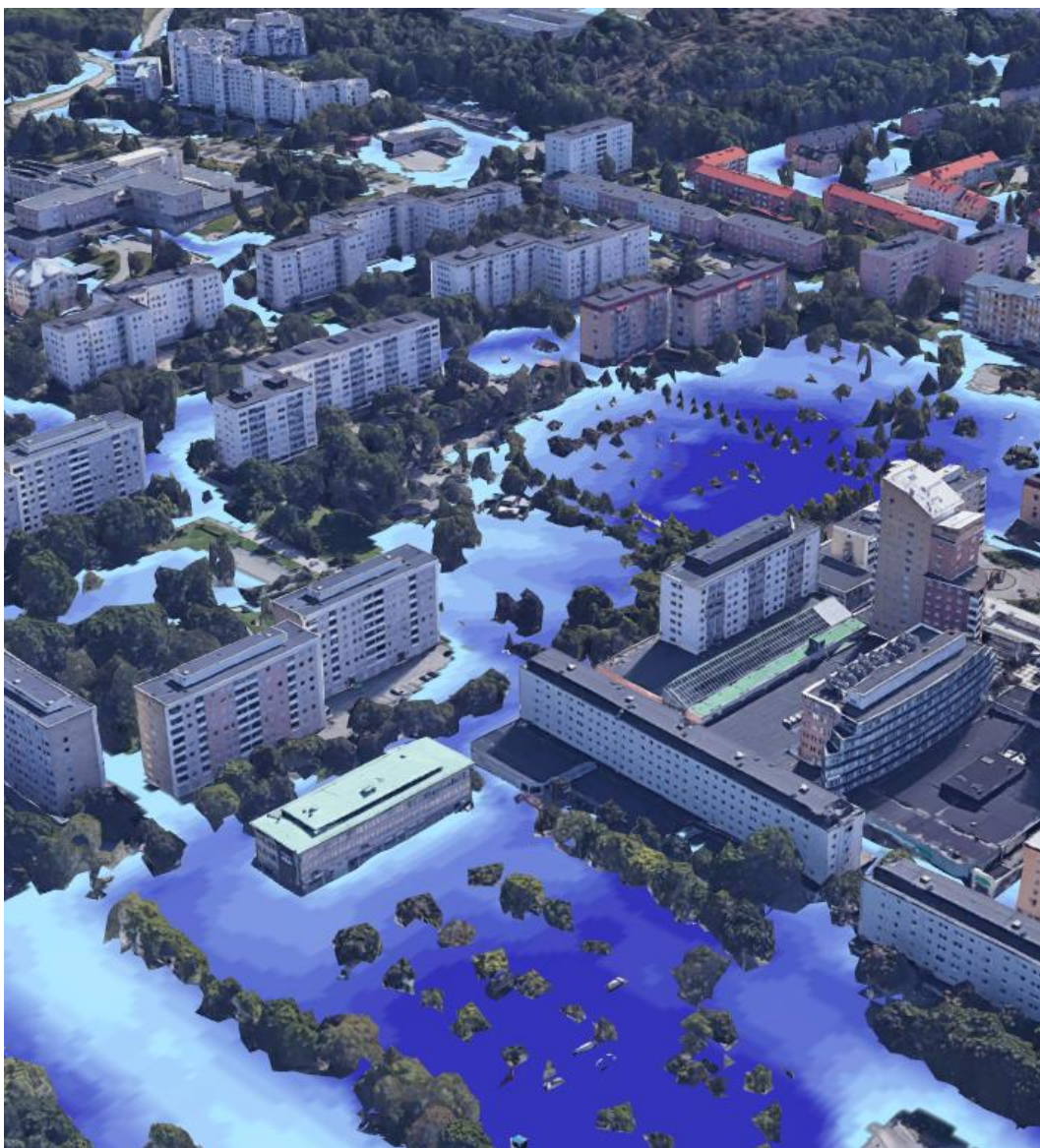
Figur 17. Exempel på visualisering i CAD-mjukvara. Skyfallsresultat från aktuell kartering.



Figur 18. Exempel på visualisering i CAD-mjukvara. Skyfallsresultat från aktuell kartering.

5.3 Visualisering i Google Earth

Skyfallskarteringar kan även visualiseras i Google Earth, vilket möjliggör mycket snabb och enkel åtkomst till skyfallskarteringen för en bred målgrupp. Detta är ett utmärkt underlag för till exempel workshops och diskussionsmöten när strategi och planarbeten är aktuella. Se Figur 19 för exempel.



Figur 19. Visualisering i Google Earth gör resultat lätt åtkomligt och visuellt tilltalande. Karta © Landsat / Copernicus

6 Diskussion och rekommendationer för vidare användning av skyfallsmodellerna

Befintlig skyfallskartering är genomförd över mycket omfattande geografisk yta. Vid studier inom enskilda kommuner rekommenderas att aktuellt intresseområde ”bryts ut” och skyfallsmodellen reduceras i omfattning, särskilt för de kluster med störst geografisk utbredning. Detta för att underlätta fortsatta arbeten då mycket stora skyfallsmodeller är bättre lämpade för kartering (där antalet beräkningar är begränsade) och inte kontinuerliga utredningar (där antal beräkningar är stort till antalet och kravet på detaljeringsgrad högre).

Det är endast skyfallsmodellens beräkningsnät som behöver brytas ut; samtliga underlagsfiler kan behållas orörda.

Vid kommunspecifika skyfallskarteringar och vidare arbeten med skyfallskarteringen finns även möjlighet att med små insatser öka detaljeringsgraden betydligt, genom att öka detaljeringsgraden i beräkningsnätet. Även detta kräver ingen justering av underlagsfiler utan endast till beräkningsnätet, eftersom skyfallsmodellerna byggts för att vara så anpassningsbara och flexibla som möjligt.

Vid fördjupad analys av översvämningsrisk från skyfall rekommenderas även att ytterligare resultatbearbetning utförs, för att addera ytterligare kunskap till utvärdering av översvämningsrisk. Framförallt följande resultat kan tas ut genom befintlig skyfallsmodell:

- Maximalt flöde under skyfallet (m^3/s)
- Maximal vattennivå (m.ö.h.)
- Varaktighet för översvämnning över ett visst djup (h varaktighet)
- Geodatalager som visar hur långt efter skyfallets början som maximalt översvämningsdjup inträffar (tidpunkt / antal h)
- Flödeskurva för särskilt relevanta rinnstråk, för att se hur storleken på flödet ser ut över tid (m^3/s)

7 Referenslista

DEFRA (2006); *Flood risks to people – Phase 2: The flood risks to people methodology*. Department for Environment, Food and Rural Affairs. London.

FEMA (2018); *Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping - Flood Depth and Analysis Grids*. Guidance Document 14, februari 2018.

Hawkesbury-Nepean Floodplain Management Strategy Steering Committee (2006); *Designing Safer Subdivisions – Guidance on Subdivision Design in Flood Prone Areas*. ISBN 0 7347 5651 8

MSB (2017); *Vägledning för skyfallskartering - Tips för genomförande och exempel på användning*. Publikationsnummer: MSB1121 - augusti 2017. ISBN: 978-91-7383-764-4.

8 Bilaga 1 – Beskrivning av levererat resultat

2020-10-23 levererades skyfallskarteringens resultat till beställare. Nedan är en kopia på den dokumentation som ingick i resultatleveransen.

Beskrivning av resultatleverans 2020-10-23

Inom Länsstyrelsen Stockholms projekt "Konsultstöd i genomförande av skyfallskartering" levererade Sweco 2020-10-23 resultat för alla ingående modellområden. Hos Sweco har detta projekt varit benämnt "Skyfallskartering Länsstyrelsen Stockholm".

Denna Filbeskrivnings-PM redogör kort för de resultatfiler som levererats. För mer detaljerad information om resultat användning, modelluppbyggnad och så vidare, vänligen se projektets huvudrapport och modelltekniska rapport.

Resultatfiler är döpta med engelska namn samt utan mellanslag och specialtecken, för att underlätta visualisering och bearbetning i så många mjukvaror som möjligt, då till exempel vissa GIS-mjukvaror inte fungerar optimalt för filer med å, ä, ö, mellanslag och specialtecken.

Huvudmappar

Inom leveransen levererades åtta (8) huvudmappar. Vardera huvudmapp innehåller samtliga resultat för ett "modellkluster". Ett modellkluster inkluderar flera tätorter. Följande huvudmappar levererades:

- Cluster1
- Cluster2
- Cluster3
- Cluster4
- Cluster4B
- Cluster5
- Cluster5B
- Cluster6

Undermappar

Varje huvudmapp har tre (3) undermappar, nämligen:

- 100yrCC1p3
- 500yrCC1p3
- Shape

Mapparna "100yrCC1p3" och "500yrCC1p3" innehåller resultat för skyfallsberäkningar där ett 100 års respektive 500 års återkomsttid modellerats. Regnen är CDS-regn med

varaktighet 6 timmar och central block om 10 min. Regnen inkluderar en klimattfaktor om 1,3, vilket motsvarade klimatförändringar år 2100 enligt RCP 8,5.

Inom dessa mappar finns resultatfiler som beskriver vilket kluster filen tillhör, vilket regn som filen gäller, samt vilken resultattyp filen avser. Här nedan beskrivs filerna utifrån benämning för kluster 1 och för 100-årsregnet:

- 1) *Cluster1_100yr_cc1p3_FlowVectors* – Flödesvektorer i vektorlager shape som visar huvudsaklig riktning och hastighet för vattenströmmar under ett skyfallet. Vektorerna är extraherade 2 h och 40 min in i modellberäkningarna, det vill säga strax efter det att den mest intensiva regntoppen är förbi.
- 2) *Cluster1_100yrcc1p3_MaxDepth_2x2m* – ASCII-raster med upplösning 2x2 m som visar statistiskt maximalt översvämningsdjup för hela modellområdet. Detta resultatraster är ingen ögonblicksbild utan sammanställer alla de maximala djup som inträffar någon gång under skyfallet för alla individuella beräkningspunkter. Djup under 10 cm är inte inkluderade i detta resultatlager.
- 3) *Cluster1_100yrcc1p3_MaxVelocity_2x2m* - ASCII-raster med upplösning 2x2 m som visar statistiskt maximal flödeshastighet för hela modellområdet. Detta resultatraster är ingen ögonblicksbild utan sammanställer alla de maximala hastigheter som inträffar någon gång under skyfallet för alla individuella beräkningspunkter. Detta lager inkluderar inte vattenhastigheter för områden där maxdjupet understiger 10 cm. Detta shapelager har således samma utbredning som filen *Cluster1_100yrcc1p3_MaxDepth_2x2m*.
- 4) *Cluster1_100yrCC1p3_MaxFloodExtent* – Vektorlager shape som visar den maximala utbredningen för översvämningen, för djup över 10 cm. Detta shapelager har således samma utbredning som filen *Cluster1_100yrcc1p3_MaxDepth_2x2m*.

Mappen "shape" innehåller två shapefiler; en som visar modellområdets omfattning och en som visar det område där underlag och modellfiler finns framtagna. Modellområdets omfattning har namnändelsen "_BUFF500.shp" kan användas för att klippa ut resultat för individuella tätorter direkt. Underlags- och modellfilsomfattning har namnändelsen "_BUFF700.shp".

Jonas Althage, projektledare och teknikansvarig

2020-10-23