Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

VÄGLEDNING

Metod för skyfallskartering av tätorter

Metod för skyfallskartering av tätorter

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)
Enhet: Enheten för arbete med naturolyckor och beslutsstödsystem

Text: Sweco
Produktion: Advant

Publikationsnummer: MSB2260 – november 2023
ISBN: 978-91-7927-435-1

Innehåll

1. Inledning 5
1.1 Syfte 6
1.2 Målgrupp 6
1.3 Avgränsningar 6
1.4 Läsanvisning 7
1.5 Arbetsgrupp 7
1.6 Begrepp 8

2. Förberedelser inför en skyfallskartering 11
2.1 Lagstiftning 11
2.2 Tillämpningsområde 12
2.3 Skyfallshändelse 18
2.4 Klimatförändringar 20
2.5 Kombinationshändelser 22
2.6 Geografisk avgränsning 24
2.7 Beställning av skyfallskartering 25

3. Insamling av underlag 27
3.1 Höjddata 30
3.2 Markanvändning 30
3.3 Jordarter och genomsläpplighet 31
3.4 Ledningsnät 31
3.5 Vattendrag 32
3.6 Randvillkor 32

4. Metod 33
4.1 Mappstruktur och namngivning av filer 33
4.2 Beräkningsnät 34
4.3 Höjdmodell 38
4.4 Råhet 41
4.5 Infiltration 43
4.6 Vattendrag 47
4.7 Ledningsnät 48
4.8 Nederbörd 55
4.9 Randvillkor 62
4.10 Simulering 63

5. Känslighetsanalyser 64
5.1 Hantering av osäkerheter 64
5.2 Exempel på känslighetsanalyser 65

6. Kvalitetsgranskning 67

7. Leverans av skyfallskartering **70**
7.1 Metodbeskrivning 70
7.2 Filleverans 71
7.3 Uppdatering 73

8. Referenser **74**

Bilaga 1 | Tillämpning av metoder **78**

1. Inledning **78**

2. Karlstad **78**
2.1 Förenklad analys 79
2.2 Detaljerad analys 80
2.3 Fördjupad analys 81
2.4 Resultat 82

3. Uddevalla **91**
3.1 Förenklad analys 92
3.2 Detaljerad analys 93
3.3 Fördjupad analys 94
3.4 Resultat 95

4. Begränsningar i metodik **102**
4.1 Förenklad analys 102
4.2 Detaljerad analys 103
4.3 Fördjupad analys 104
4.4 Resultatens användningsområden 104

Bilaga 2 | Exempel på beställning av skyfallskartering **106**

Bilaga 3 | Sammanfattning rekommendationer **107**

Bilaga 4 | Modelldokumentation **108**

1. Inledning

Risken för intensiva skyfall ökar i ett förändrat klimat. För att minska sårbarheten i samhället och öka anpassningen till ett förändrat klimat krävs en ökad beredskap för att möta skyfall. Kunskap om vilka områden som kan drabbas vid ett skyfall är en förutsättning för att kunna planera samhället så att negativa konsekvenser inte uppstår.

I dagsläget finns ett flertal olika tillvägagångssätt för att kartera skyfallshändelser, och förutsättningarna för skyfallskarteringar varierar mellan landets kommuner.

MSB har tidigare tagit fram en vägledning för skyfallskartering (MSB, 2017). Den tidigare vägledningen är en generell beskrivning av skyfallskartering. Kommuner och aktörer på marknaden har sett ett behov av en mer standardiserad metodvägledning för att underlätta bedömning av översvämningsrisker. Regeringen har under 2022 uppdragit åt MSB att ta fram en metodik för skyfallskartering (Regeringen, 2022). Denna metod ska rikta sig till såväl beställare som utförare av skyfallskarteringar.

I samband med skyfallskartering i samhällsplaneringen är det av största vikt att eftersträva ett tillräckligt bra underlag för det specifika syftet. Om en skyfallskartering görs på en för enkel eller en för detaljerad nivå i förhållande till syftet riskerar detta att medföra onödig tids- och resursåtgång.

Ett grundsyfte med denna vägledning är att främja aktiva och medvetna val baserade på välgrundade antaganden. Vägledningen innehåller bland annat rekommendationer om val av metod med hänsyn till syftet med skyfallskarteringen, vilka underlag som behövs, hur skyfallskarteringar utförs kopplat till val av metod och kvalitetsgranskning av resultaten.

Ambitionen med denna vägledning är att höja kunskapsnivån i samband med skyfallskarteringar genom att:

- Öka förståelsen för skyfall som föremål för kartering.
- Öka förståelsen för vilka val av metoder som är möjliga och lämpliga.

1.1 Syfte

Vägledningen syftar till att redovisa en nationell metod för skyfallskartering av tätorter. Metoden ska utgöra underlag till de skyfallskarteringar som kommuner, länsstyrelser eller andra aktörer tar fram i sitt förebyggande arbete för hantering av skyfall samt vid modellering av inträffade skyfallshändelser. Metoden kan exempelvis användas i översiktsplanearbete, detaljplaneringsarbete och i framtagandet av riskhanteringsplaner samt risk- och sårbarhetsanalyser.

1.2 Målgrupp

Vägledningen riktar sig dels till beställare av skyfallskarteringar som exempelvis kommuner eller myndigheter, dels till utförare av skyfallskarteringar.

En *beställare* av skyfallskarteringar rekommenderas att ha en generell kännedom om hur och när skyfallskarteringar utförs, samt vad konsekvenserna blir av att välja olika tillvägagångssätt. Detta beskrivs kortfattat i denna vägledning.

En *utförare* av skyfallskarteringar rekommenderas att ha grundläggande kunskap i statisk och dynamisk modellering inklusive kännedom om skyfallskartering och om de modelltekniska begrepp som tillämpas i hydraulisk modellering.

1.3 Avgränsningar

Vägledningen har tagits fram enligt följande avgränsningar:

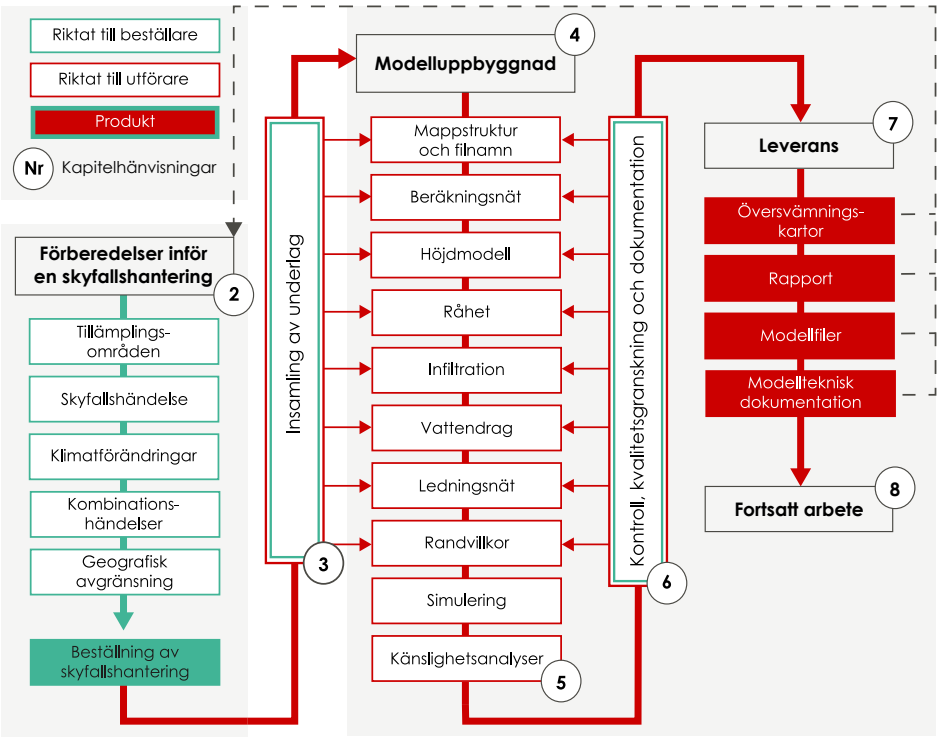
- Metoden avser skyfallsmodellering för tätorter, vilket enligt Statistiska Centralbyrån definieras som sammanhängande bebyggelse med minst 200 invånare[1].
- Metoden är anpassningsbar så att olika detaljeringsgrader kan nyttjas beroende på i vilket syfte skyfallskarteringen ska användas.
- Metoden utgör ett komplement till den vägledning för skyfallsmodellering som togs fram av MSB 2017 (MSB, 2017), men ersätter ej denna.
- Metoden är ett vägledande dokument, ej juridiskt bindande.
- Vägledningen har tagits fram för att genomföra förenklade analyser i statiska verktyg samt detaljerade och fördjupade analyser i dynamiska modellverktyg.
- Metoden syftar inte till att utgöra ett generellt kunskapsunderlag för modellering, då fokus ligger på vägledning inom modellering av skyfallseffekter. En viss förkunskap inom modellering erfordras därmed.
- Metoden är formulerad för att kunna tillämpas både vid framtagande av nya modeller samt vid uppdatering av existerande modeller.

1. Tätorter (scb.se).

1.4 Läsanvisning

I figur 1 visas en översikt över rapportens innehåll. Gröna rutor i figuren är delar som riktas till *beställare* av skyfallskartering. Röda rutor riktar sig till *utförare* av skyfallskartering. Genom rapporten finns sammanfattande rutor som följer samma färgkodning och som beskriver det viktigaste innehållet som riktas till respektive aktör.

Figur 1. Rapportens innehåll. Gröna rutor är delar som riktas till beställare av skyfallskartering. Röda rutor riktar sig till utförare av skyfallskartering.



1.5 Arbetsgrupp

I arbetsgruppen för framtagandet av vägledningen deltog Sweco och MSB.

Inom ramen för projektet har en referensgrupp etablerats med representanter från branschöverskridande aktörer inom skyfallsområdet. Detta innefattar deltagande från myndigheter, kommuner, konsulter och branschorganisationer. Syftet med referensgruppen är att under projektets gång ha en gemensam plattform för synpunkter och avstämningar gällande vägledningens innehåll. Referensgruppens inspel har varit ett viktigt underlag vid framtagandet av vägledningen.

Deltagande parter i referensgruppen var DHI, SCALGO, Ramboll, Boverket, SMHI, Svenskt Vatten, Halmstads kommun, Stockholm stad, Göteborgs stad, Malmö stad, Lunds Universitet, Länsstyrelsen Östergötland, Länsstyrelsen Värmland, Länsstyrelsen Västra Götaland, Länsstyrelsen Norrbotten och Länsstyrelsen Stockholm.

1.6 Begrepp

100-årsregn – Ett regn som har en återkomsttid på 100 år uppstår eller överträffas i genomsnitt en gång på 100 år. Det innebär att sannolikheten för händelsen är en (1) procent varje enskilt år.

1D-modell – Ett generellt begrepp som i det här sammanhanget används som benämning av modeller för att beräkna vattennivå, flöde och hastighet i ledningsnät eller vattendrag. Modellen löser flödesekvationer i en dimension.

2D-modell – Ett generellt begrepp som i det här sammanhanget används som benämning av modeller för att beräkna vattennivå, flöde och hastighet på markytan. Modellen löser flödesekvationer i två dimensioner.

Ackumulerad sannolikhet – Det innebär att sannolikheten är en (1) procent varje enskilt år. Eftersom man exponerar sig för risken under flera år blir den ackumulerade risken avsevärt större. För en konstruktion vars livslängd beräknas till 100 år blir den ackumulerade risken hela 63 % att 100-årsvärdet överskrids någon gång under 100 år.

Avrinningskoefficient – Koefficient för hur stor andel av vattnet som avrinner på ytan eller från ytan avseende olika typer av markanvändning.

Avrinningsområde – Avser det naturliga avrinningsområdet dvs. det område från vilket vatten dräneras till ett vattendrag eller en vattenförekomst uppströms en viss punkt. Avrinningsområdet begränsas av höjdryggar i terrängen som delar flödet åt olika håll. Naturliga avrinningsområden skiljer sig mot tekniska avrinningsområden, där det tekniska dagvattensystemet beaktas.

Beräkningsnät – Komponent i en hydraulisk modell som beskriver i vilka punkter beräkningar sker. Beräkningsnätets upplösning styr noggrannheten i beräkningarna.

Blockregn – Används för att beskriva nederbördsförloppet. Blockregn beskriver regnets medelintensitet som ett konstant värde för en given varaktighet och återkomsttid.

CDS-regn – Chicago Design Storm. Ett syntetiskt regn för en specifik återkomsttid och varaktighet, bestående av en tidsserie där regnets intensitet varierar med tiden.

Dagvattensystem – System av rör och öppna anläggningar vilka har för avsikt att ta om hand och leda bort regn- och smältvatten.

Dynamisk skyfallsmodell – En modell av ett system som förändras över tid, där resultatet av ett tidssteg blir input för beräkning av nästa tidssteg. Se även 2D-modell och markavrinningsmodell.

Hydraulisk konduktivitet – Markens vattengenomsläppliga förmåga. SI-enhet = m/s.

Hydraulisk modell – Avser i det här sammanhanget en modell för ledningsnät, men används också som benämning för vattendragsmodeller. Se även 1D-modell.

Höjdmodell – Modell som beskriver markytans topografi.

Infiltration – Process där nederbörd tränger ner i marken.

Infiltrationskapacitet – avser här markens vattengenomsläpplighet uttryckt i mm/h. Se även hydraulisk konduktivitet.

Kalibrering – Justering av parametrar i en modell så att den överensstämmer med observationer.

Kapillaritet – en vätskas förmåga att, till följd av ytspänning, stiga eller hållas kvar i jordmaterial.

Klimatfaktor – En faktor, oftast över 1, som läggs till dagens förhållande som en faktor för att beskriva förändringen kopplad till ett föränderligt klimat. Klimatfaktor 1,3 innebär exempelvis en förväntad ökning av nederbörd med 30 procent.

Koncentrationstid – Tiden det tar för vatten att rinna från avrinningsområdets högsta till lägsta punkt och inkluderar tiden det tar att fylla upp magasin längs vägen.

Konsekvensanalys – Analys av konsekvenser för exempelvis bebyggelse och infrastruktur. Generellt avses i det här sammanhanget att kombinera beräknade översvämningsdjup och flödeshastighet med information om det som kan påverkas av vattnet.

Kopplad modell – Hydraulisk modell som i detta sammanhang innehåller komponenter från både en- och tvådimensionella modeller.

Känslighetsanalys – Analys av känsligheten i modellresultat kopplat till enskilda parametrar (indata och modellkonstanter).

Ledningsnätsmodell – 1D-modell som visar läge och kapacitet för avloppsledningar.

Mannings tal – Parameter som beskriver en ytas råhet i hydrauliska beräkningar.

Markavrinningsmodell – I detta dokument avses en 2D-modell.

Morän – Osorterad mineraljordart som bland annat kan innehålla block, sten, grus, sand, mo och lera.

Mättnadsgrad – Anger hur stor del av porvolymen som är fylld av vatten. Anges vanligen i procent.

Permeabilitet – Generellt begrepp för markens genomsläpplighet för vätskor i allmänhet och enbart baserat på jordens egenskaper. Anges i enheten Darcy.

Porositet – Förhållandet mellan porvolym och jordvolym, anges vanligen i procent.

Porvolym – Sammanlagd volym av hålrum såsom sprickor, porer, rotkanaler och dylikt.

RCP – Representative Concentration Pathways (RCP) De syftar till att ge information om klimatförändringarna vid olika halter av växthusgaser i atmosfären.

Risk – Sammanvägd värdering av sannolikhet och konsekvens (produkten av dessa eller annan funktion).

Samhällsviktig verksamhet – En verksamhet, tjänst eller infrastruktur som upprätthåller eller säkerställer samhällsfunktioner som är nödvändiga för samhällets grundläggande behov, värden eller säkerhet. I detta sammanhang ska verksamhet förstås som ett vidare begrepp. Verksamhet, tjänst eller infrastruktur inkluderar exempelvis även anläggningar, processer, system och noder.

Schablonavdrag – Avdrag som görs för en viss parameter i stället för att beakta faktisk information för en parameter, till exempel avdrag för ledningsnätets kapacitet.

Skyfall – Kortvarigt (minuter-timmar) högintensivt regn. Enligt SMHI:s definition ska intensiteten överstiga 50 mm/timme eller 1 mm/minut. I VA-sammanhang brukar skyfall definieras som ett regn som är kraftigare än vad de allmänna dagvattenledningarna är dimensionerade för att avleda.

Skyfallskartering – Allmänt begrepp för framtagning av kartor som visar översvämningsutbredning vid extrema regn.

Skyfallsmodellering – Dynamisk analys med hydraulisk modell som visar vilka områden som översvämmas vid studerad regnhändelse och hur dessa varierar i tid. Resultatet är ett kartunderlag som visar översvämningsutbredning, vattendjup, ytliga flöden och flödesvägar, hastigheter, översvämningsvaraktigheter mm.

Skyfallsplanering – Avser det strategiska arbetet med att hantera skyfallsrisker. Skyfallsplanering kan till exempel innefatta kartläggning av skyfallsrisker, konsekvensanalys, formulering av acceptabla risknivåer, prioritering av funktioner och verksamheter och åtgärdsplanering.

Statiska skyfallsmodeller – Skyfallskartering i verktyg som ger en representation av ett system som inte har tid som input.

Typregn – Ett regn med en viss antagen form, där intensitetsvärden för olika varaktigheter kopplas till en viss vald återkomsttid. Samband mellan intensitet, varaktighet och återkomsttid baseras på statistisk bearbetning av en stor mängd historiska regntillfällen.

Tätort – Sammanhängande bebyggelse med minst 200 invånare.

Återkomsttid – Ett mått på hur ofta förekomsten av händelser kan förväntas. Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under denna tid.

Årlig sannolikhet – beskriver sannolikheten för att en händelse ska inträffa ett enskilt år. Kan beskrivas i procent eller i andelar, exempelvis är den årliga sannolikheten för ett regn med 100-års återkomsttid 1 % eller 1/100.

2. Förberedelser inför en skyfallskartering

I kapitel 2 ges vägledning till förberedelser och vad som är bra att tänka på inför en skyfallskartering. Kapitlet riktas främst till beställaren av en skyfallskartering.

2.1 Lagstiftning

Flera olika lagstiftningar ställer krav på kommunerna att utreda risker för klimatrelaterade händelser. En skyfallskartering är ofta ett nödvändigt underlag för arbetet enligt lagstifningen.

Av Plan- och Bygglagens (PBL) 3 kap. 5§ framgår att kommunen i översiktsplanen ska ge sin syn på risken för skador på den byggda miljön som kan följa av översvämning, ras, skred och erosion som är klimatrelaterade samt på hur sådana risker kan minska eller upphöra.

I lagen (2006:544) om kommuners och regioners åtgärder inför och vid extraordinära händelser i fredstid och höjd beredskap (LEH) fastställs att kommuner ska analysera vilka extraordinära händelser som kan inträffa i kommunen och hur dessa händelser kan påverka den egna verksamheten. Resultatet av arbetet ska värderas och sammanställas i en risk- och sårbarhetsanalys.

Enligt lagen (2006:412) om allmänna vattentjänster (§ 6a-b) ska Sveriges kommuner ta fram en vattentjänstplan. Vattentjänstplanen ska bland annat beskriva hur den allmänna VA-anläggningen påverkas av skyfall, samt definiera vilka åtgärder som krävs för att hantera detta.

Enligt lagen (2003:778) om skydd mot olyckor ska kommunen ha ett handlingsprogram för både förebyggande verksamhet och räddningstjänst. I programmet ska kommunen bland annat ange målen för verksamheten, de risker för olyckor som finns i kommunen och som kan leda till räddningsinsatser och förmågan att genomföra räddningsinsatser för varje typ av sådan olycka.

2.2 Tillämpningsområde

Sammanfattning för beställare av skyfallskartering

- Metodval för en skyfallskartering ska ske med beaktande av studiens syfte och vilka svar som karteringen förväntas kunna ge. I vägledningen ges rekommendationer för tre olika tillämpningsnivåer för skyfallskartering:
  - Förenklad analys – fungerar för en översiktlig screening av översvämningsrisker och som input till val av metod för skyfallsmodellering.
  - Detaljerad analys – skyfallsmodellering som rekommenderas för de flesta tillämpningsområden som inte kräver en fördjupad analys.
  - Fördjupad analys – skyfallsmodellering som rekommenderas vid detaljerade utredningar, dimensionering av åtgärder och i områden där skyfallsavrinning i hög grad påverkas av till exempel ledningsnät eller vattendrag.
- Om en förenklad analys används för syften som egentligen kräver detaljerad eller fördjupad analys, kan detta leda till suboptimering och onödiga merkostnader i ett efterföljande skede. Vid val av en förenklad analys är det centralt att det finns en långsiktig tanke med hur skyfallskarteringens resultat ska användas i framtiden.
- En detaljerad eller fördjupad analys ger en mer sanningsenlig bild av skyfallssituationen jämfört med en förenklad analys. Dock är en skyfallsanalys alltid en förenkling av verkligheten.

Vad en skyfallskartering ska användas till och vilka underlag som finns tillgängliga har betydelse för vilken metod som är lämplig för en skyfallskartering. Den metod som är lämplig för ett visst syfte kanske inte står i proportion till tillgängliga resurser och tidplaner. För övergripande analyser eller tidiga skeden i översiktsplaneprocessen kan det vara tillräckligt med en enklare screening av översvämningsrisker, medan det vid dimensionering av åtgärder krävs högre detaljeringsgrad för att få bra förutsättningar. Viktigt är att det finns en långsiktighet i planeringen så att framtida användning av skyfallskarteringen har värderats innan metod väljs.

2.2.1 Statiska och dynamiska verktyg

Skyfallskarteringar kan genomföras med statiska eller dynamiska verktyg.

Statiska verktyg ger en representation av ett system som inte tar hänsyn till tidsaspekten. Resultatet av dessa visar ett system där volymerna av vatten har fördelats enligt principen att allt vatten rinner på marken och fyller upp tillgängliga lågpunkter. I vissa fall kan volymen regn regleras, vilket styr hur mycket lågpunkterna fylls.

Dynamiska verktyg är en modell av ett system som förändras över tid, där resultatet av ett tidssteg blir input för beräkning av nästa tidssteg. Skillnad i resultat mellan skyfallskarteringar med statiska respektive dynamiska verktyg är att det senare kan beskriva hur vatten rör sig i terrängen och inte bara var, hur mycket vatten som breder ut sig i flödesvägar och vilka flöden och hastigheter som kan förväntas. Vilken typ av verktyg som rekommenderas beror av i vilket syfte som skyfallskarteringen genomförs.

Nedan presenteras tre olika tillämpningsnivåer för skyfallskarteringar. I det här dokumentet ges vägledning för skyfallskarteringar som genomförs med dynamiska verktyg. Ingen vägledning för användning av statiska verktyg ges då detta varierar med programvaror.

2.2.2 Förenklad analys

Med förenklad analys avses skyfallskarteringar som genomförs med statiska verktyg. Skyfallskarteringar med statiska verktyg är värdefulla då det med liten insats går att visa avrinningsvägar och instängda områden i terrängen. De ger en överblick över hur vatten kan röra sig i terrängen och vilka potentiella översvämningsrisker som kan finnas i området.

Eftersom statiska verktyg utelämnar tidsaspekter kan effekter såsom flöden, hastigheter, förändring över tid, varaktigheter och dämningsnivåer inte studeras. Markens och ledningsnätets påverkan på skyfallsavrinningen kan beaktas genom ett volymavdrag på nederbörden. En sådan förenklad beskrivning utelämnar utbytet mellan markyta, ledningsnät och markmagasin samt hur detta förändras över tid.

En förenklad analys ger en fingervisning om potentiella skyfallsrisker, men riskerar att både under- och överskatta den verkliga riskbilden. En förenklad analys kan därför inte användas för att kartera ett värsta tänkbart scenario.

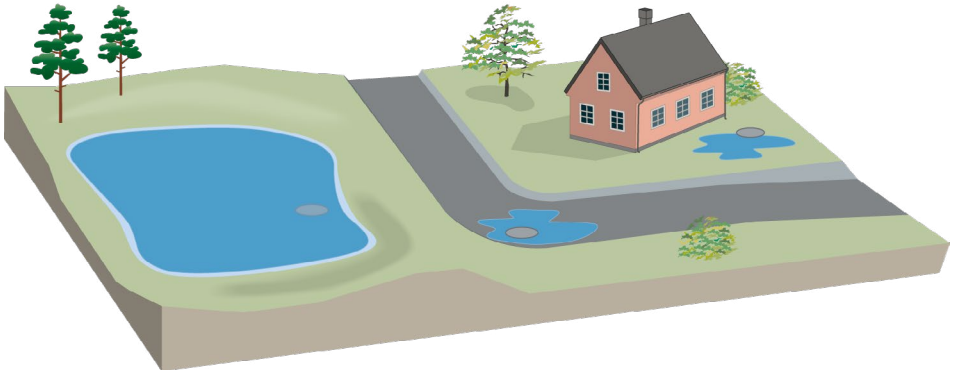
Exempel på användningsområden för skyfallskartering baserad på förenklad analys

- Utredning av skyfallsrisker i naturområden, som inte påverkar eller påverkas av skyfallssituationen i tätort.
- Identifiering av potentiella översvämningsrisker där stora osäkerheter kan accepteras samt att koppling till en specifik sannolikhet inte är viktigt.
- Identifiering av potentiellt översvämningsdrabbade områden som behöver studeras närmare.
- Utredning av möjlig placering av skyfallsåtgärder, dock ej dimensionering av åtgärder.
- Underlag inför val av metod för skyfallsmodellering.
- Underlag för mer detaljerad analys, till exempel genom att utifrån rinnvägar göra en geografisk avgränsning för skyfallsmodellering.

Exempel på olämpliga användningsområden

- Risk- och konsekvensanalyser. Eftersom den **förenklade** analysen kan ge en ofullständig bild av skyfallets utbredning avråds från att använda underlaget för bedömning av risker.
- Dimensionering av åtgärder. Eftersom den förenklade analysen utelämnar hastigheter och flöden är den otillräcklig för dimensionering av åtgärder.
- Fysisk planering. En förenklad analys ger otillräcklig information om hur området påverkas av aspekter såsom inflöden från ledningsnät eller om planeringen innebär försämringar för omkringliggande områden.

Figur 2. Princip för förenklad skyfallskartering med statiska verktyg. Lågpunkter i terrängen fylls upp med applicerad regnvolym eller till max. Ingen hänsyn tas till tidsaspekt, vilket innebär att hastigheter och flöden ej beaktas.



2.2.3 Detaljerad analys

Med detaljerad analys avses skyfallskarteringar som genomförs i dynamiska verktyg, så kallade 2D-modeller. Med denna nivå erhålls en noggrannhet som bedöms vara god för de flesta användningsområden.

För en detaljerad analys rekommenderas att välja mer konservativa antaganden i skyfallskarteringen jämfört med en fördjupad analys. Konservativa antaganden innebär att man gör val som leder till resultat som är på den säkra sidan. Detta för att ta höjd för osäkerheter som förenklingar i modelluppbyggnaden medför. Exempel på när konservativa antaganden kan användas, är vid val av klimatfaktor, infiltrationskapacitet och avdrag för ledningsnät. Konservativa schablonavdrag kan dock riskera att leda till ett underskott av vatten i andra delar av modellen, exempelvis i nedströms områden som får vatten via högre belägna ledningsnät. Ett litet avdrag för ledningsnätets kapacitet uppströms ger då ett för lågt tillskott till dessa nedströmsområden, samtidigt som den modellerade översvämningen uppströms är konservativ. Läs mer om detta i kapitel 4.7.

Exempel på användningsområden för skyfallskartering baserad på detaljerad analys

- Risk- och konsekvensanalyser.
- Utredning och underlag för fysisk planering, till exempel översiktsplaner, planprogram och detaljplanering.
- Förstudier av infrastrukturprojekt, till exempel åtgärdsvalsstudie.
- Åtgärdsplanering för skyfallsrisker i befintlig bebyggelse och för samhällsviktig verksamhet.
- Framtagning av randvillkor till fördjupade analyser, till exempel för beräkning av inflöden från uppströms avrinningsområden.

Exempel på olämpliga användningsområden

- När ledningsnätet har stor betydelse för resultaten, till exempel vid utredning av mindre regnhändelser (regn med återkomsttid mindre än 50 år), i instängda tätortsområden eller vid dimensionering av åtgärder.
- När vattendrag har stor betydelse för resultaten, till exempel när tätorten ligger i nära anslutning till ett vattendrag med många dämmande strukturer så som broar och kulvertar eller i vattendrag i små avrinningsområden med snabb respons.
- Där infiltration har stor påverkan, till exempel i områden med genomsläppliga jordar.

Figur 3. Princip för detaljerad skyfallskartering med dynamiska verktyg. Vattnets väg och volym beräknas med hänsyn till studerat regn. Ledningsnätet beskrivs inte men regn över hårdgjorda ytor justeras med hänsyntill ledningsnätets bedömda kapacitet genom ett schablonmässigt avdrag. Beräknad översvämning kan bli både mindre och större jämfört med förenklad analys. I den vänstra översvämningsytan räcker inte regnet till för att fylla lågpunkten medan den högra lågpunkten i vägen blir överfull och vatten rinner vidare längs vägen.

2.2.4 Fördjupad analys

Med fördjupad analys avses skyfallskarteringar som genomförs i dynamiska verktyg, så kallade 2D-modeller. Men, jämfört med en detaljerad analys används en högre noggrannhet i modelluppbyggnaden. Eventuellt dagvattenförande ledningsnät och vattendrag beskrivs i 1D-modeller som kopplas till 2D-modellen. Till följd av den högre noggrannheten kan mindre konservativa antaganden användas jämfört med en förenklad eller detaljerad analys. Detta har ett värde i och med att överdimensionerade åtgärder som ger en stor kostnad för samhället kan undvikas samt att risker som eventuellt har missats i en förenklad eller detaljerad analys kan fångas upp.

Exempel på användningsområden för skyfallskartering baserad på fördjupad analys

- Riskanalys på objektsnivå.
- Underlag för projektering.
- Dimensionering av åtgärder.
- Jämförelse av översvämning med/utan åtgärder.

Exempel på användningsområden som inte rekommenderas

- Utredningar i tidiga skeden, när enklare analyser kan vara tillräckliga med hänsyn till tillgänglig information.

Figur 4. Princip för fördjupad skyfallskartering med kopplad modell. Markavrinningsmodellen kopplas till en ledningsnätsmodell som beskriver de lokala kapacitetsförhållandena i ledningsnätet. Beräknad översvämning kan bli både mindre och större jämfört med en ren kartering av markavrinning. I den vänstra lågpunkten sväljer ledningsnätet all tillrinning och översvämning uteblir. Ledningsnätet längs vägen överbelastas och bidrar med ytterligare vatten som rinner ut från brunnar, vilket ökar översvämningens omfattning längs vägen.

2.2.5 Sammanfattning av tillämpningsområden

I tabell 1 presenteras en översikt av nämnda tillämpningsnivåer för skyfallskartering tillsammans med exempel på fördelar och begränsningar.

Tabell 1. Fördelar och begränsningar med respektive tillämpningsnivå.

Tillämpningsnivå	Fördelar	Begränsningar
Förenklad analys Statisk skyfallskartering	Tidseffektivt. Låg kostnadsbild. Begränsat behov av indata. Kan snabbt tas fram för stora geografiska områden. Indikerar möjliga problemområden. Infiltration och ledningsnät kan beroende på verktyg beaktas med volymavdrag på regn.	Osäkert planeringsunderlag. Missar dynamisk effekt av höjdskillnader i terrängen, strömningsmotstånd, ledningsnät och infiltration. Dämmande effekter från små eller delvis helt igensatta vägtrummor beaktas inte. Stor risk att felbedöma skyfallsförloppet och skyfallsrisker. Vattendjup och utbredning begränsad till lågpunktens storlek.
Detaljerad analys Lågupplöst dynamisk skyfallskarting (2D-modell)	Kan utföras för större geografiska områden än fördjupad analys. Tillförlitligt resultat för de flesta situationer. Resultatet har flera användningsområden. Visar skyfallets dynamiska förlopp över tid. Fångar upp eventuella översvämningsrisker som missas i enklare analyser. Kan beakta ledningsnätets kapacitet genom avdrag. Kan beakta infiltrationskapacitet genom avdrag.	Större arbetsinsats, jämfört med förenklad analys. Kräver underlag av viss kvalitet. Kan vara för grov för att exempelvis fånga upp mindre strukturer i terrängen eller utnyttja kapaciteten i diken och mindre vattendrag. Risk för under eller överskattning av lokala översvämningar kan ej uteslutas.
Fördjupad analys Högupplöst dynamisk skyfallskarting (2D-modell), med koppling till ledningsnät/vattendrag (1D-modeller)	Tillförlitligt resultat för detaljerade studier och dimensionering. Högupplöst resultat. Visar skyfallets dynamiska förlopp över tid. Fångar upp eventuella översvämningsrisker som missas i enklare analyser. Beskriver utbytet mellan ledningsnät och markyta, samt markyta och underliggande jordlager. Beskriver översvämningsvaraktigheter med hänsyn till ledningsnät.	Större arbetsinsats, jämfört med detaljerad analys. Kostnadskrävande, jämfört med detaljerad analys. Svårighet att hålla hög detaljeringsgrad över stora geografiska områden. Kräver underlag av viss kvalitet. Tyngre modellkörningar.

2.3 Skyfallshändelse

Sammanfattning till beställare av skyfallskartering

- Val av skyfallshändelse bör ske med hänsyn till vad skyfallskarteringen ska användas till.
- Val av metod för skyfallskartering har betydelse för vilka skyfallshändelser som är lämpliga att studera.
- Det rekommenderas att studera flera skyfallshändelser.

Begreppet skyfall är inte knutet till en specifik återkomsttid, det kan sägas representera alla större regnhändelser som kan leda till en större mängd vatten på markytan. SMHI:s definition av skyfall är minst 50 mm på en timme eller minst 1 mm på en minut[2].

En skyfallshändelses storlek kan bland annat beskrivas med termerna *återkomsttid, genomsnittlig återkomstperiod* eller *årlig sannolikhet*. I Tabell 2 visas förhållandet mellan de två vanligaste begreppen för att beskriva en skyfallshändelse.

Om man vill veta sannolikheten för att ett regn med en viss återkomsttid inträffar eller överträffas under en längre period måste man beräkna den ackumulerade sannolikheten. I Tabell 3 visas den ackumulerade sannolikheten för några olika återkomsttider. Exempelvis är den ackumulerade sannolikheten 63 procent att en 100-årshändelse inträffar en gång under en period på hundra år.

Tabell 2. Förhållande mellan en händelses återkomsttid och motsvarande årlig sannolikhet för att händelsen ska inträffa i genomsnitt under ett enskilt år.

Återkomsttid (år)	Årlig sannolikhet (%)
1	100
2	50
5	20
10	10
30	3,3
50	2
100	1
200	0,5
1 000	0,1

2. Skyfall och rotblöta | SMHI.

Tabell 3. Tabellen visar den ackumulerade risken att en vädersituation med en viss återkomsttid inträffar under en tidsperiod.

Återkomst-tid (År)	Sannolikhet under 1 år	Sannolikhet under 2 år	Sannolikhet under 5 år	Sannolikhet under 10 år	Sannolikhet under 20 år	Sannolikhet under 50 år	Sannolikhet under 100 år
2	50	75	97	100	100	100	100
5	20	36	67	89	99	100	100
10	10	19	41	65	88	99	100
20	5	10	23	40	64	92	99
50	2	4	10	18	33	64	87
100	1	2	5	10	18	39	63

I samband med val av vilken eller vilka skyfallshändelser som ska studeras rekommenderas att följande beaktas:

- Syftet med skyfallskarteringen och vad resultaten ska kunna användas till:
  - Vid utredning av ny bebyggelse rekommenderas att som minimum studera ett regn med 100 års återkomsttid för att utvärdera planens lämplighet med hänsyn till skyfallsrisker, utifrån nuvarande rekommendationer från Boverket och flertal länsstyrelser.
  - Vid utredning av befintlig bebyggelse, till exempel för riskanalys och kostnadsnyttoanalys, rekommenderas att studera flera regn för att bedöma ett områdes känslighet för översvämning vid skyfall. Som utgångspunkt vid val av skyfallshändelser rekommenderas att ta avstamp i vilken konsekvensnivå som kan eller ej kan accepteras, exempelvis hur ofta en översvämning anses få medföra störningar eller skador.

- Exempel på möjliga begränsningar med vald metod:
  - Det rekommenderas att med förenklad eller detaljerad analys ej studera för små skyfallshändelser (<100 års återkomsttid). Detta eftersom ledningsnät och infiltration har en större betydelse ju mindre regn som studeras, och således behöver dessa parametrar i så fall beskrivas med en högre noggrannhet. Lägsta lämpliga återkomsttid för förenklade eller detaljerade analyser beror av ledningsnätskapacitet och hur genomsläpplig mark som finns i området.
  - Oberoende av val av metod rekommenderas det att beakta om det finns behov av att även studera händelser med längre återkomsttider (händelser med lägre sannolikhet) för att ta höjd för osäkerheter i vald metod för skyfallskarteringen, till exempel genom att studera ett 200-årsregn som komplement till ett 100-årsregn när det har gjorts många antaganden och förenklingar i samband med skyfallskarteringen.
  - Oberoende av val av metod rekommenderas det att beakta om det finns behov av att även studera händelser med kortare återkomsttider (händelser med högre sannolikhet) i samband med utredning av åtgärder, till exempel genom att studera ett 50-årsregn som komplement till ett 100-årsregn.

I tabell 4 ges rekommendationer för val av skyfallshändelse med hänsyn till skyfallskarteringens tilltänkta användningsområde. I kapitel 4.8 förs resonemang om storlek på avrinningsområdet och koppling till regnvaraktighet. Observera att nederbördstatistiken blir mer osäker ju lägre årlig sannolikhet som studeras, för mer info se kapitel 4.8.1.

Tabell 4. Rekommendationer för val av skyfallshändelse med hänsyn till användningsområde.

Användnings-område	Återkomst-tid (År)	Kommentar
Risk- och konsekvensanalyser	50–1 000	Vid risk och konsekvensanalyser rekommenderas att minst två återkomsttider studeras. Beakta osäkerheten vid högre återkomsttider.
Fysisk planering (ny bebyggelse)	Minst 100	Rekommendationer från Boverket (Boverket, 2022): För *ny sammanhållen bebyggelse och bebyggelse med samhällsviktig verksamhet* bör som minimum den årliga sannolikheten för att bebyggelse tar skada vid översvämning vara mindre än 1/100 (1 % årlig sannolikhet). Effekten av ett föränderligt klimat under bebyggelsens förväntade livstid behöver beaktas. Vid planläggning av verksamheter av större samhällsviktig betydelse eller verksamheter där översvämning leder till särskilt stora konsekvenser, behöver betydligt kraftigare skyfall med avsevärt längre återkomsttider kunna hanteras. För *samhällsfunktioner och bebyggelse av mindre vikt* behöver som minimum den årliga sannolikheten för att bebyggelse tar skada vid översvämning vara mindre än 1/100 (1 %).
Övrig åtgärds-planering	Valfritt	Upp till projektägare att bedöma vad som är lämpligt att välja som dimensionerande för det specifika fallet. Här kan till exempel tillgänglig yta och ekonomi vara minst lika relevant som val av återkomsttid.

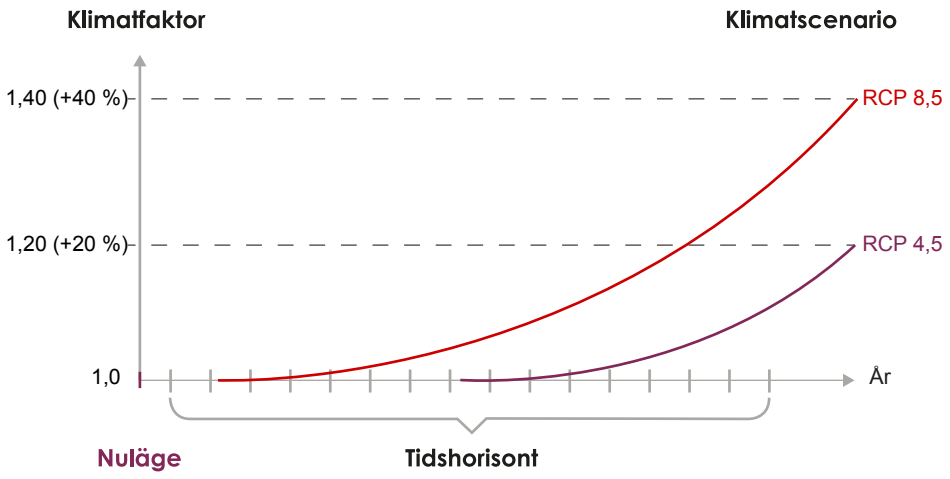
2.4 Klimatförändringar

Sammanfattning till beställare av skyfallskartering

- För beaktande av klimatförändringar rekommenderas att följa aktuell kunskap om klimatförändringar. För närvarande rekommenderas att använda klimatscenariot RCP 8,5 vid bedömning av översvämningsrisker i fysisk planering kopplat till skyfall, men andra klimatscenarier kan vara mer relevanta beroende på syftet med karteringen och avrinningsområdets förutsättningar.
- Val av klimatfaktor ska ske med hänsyn till vilken tidshorisont som planeras för. För de flesta tillämpningar rekommenderas en tidshorisont om 50 till 100 år.

Klimatförändringar beaktas genom att multiplicera en klimatfaktor till nederbördsbelastningen. För att välja klimatfaktor behöver ställning tas till klimatscenario och tidshorisont. I figur 5 visas en schematisk bild för att beskriva hur dessa hänger ihop. För aktuella data hänvisas till FN:s klimatpanel IPCC.

Figur 5. Schematisk bild som visar hur val av klimatfaktor påverkas av klimatscenario samt tidshorisont.



2.4.1 Klimatscenario

För bedömning av översvämningsrisker till följd av klimatförändringar rekommenderas att följa aktuell kunskap om klimatförändringar. Nya klimatscenarier utvecklas fortlöpande. Denna vägledning utgår från RCP-scenarier.

Vid bedömning av framtida klimatförändringar, riskvärdering och planering av anpassningsåtgärder rekommenderas att det framtida klimatet analyseras utifrån **flera olika utsläppsscenarier**. Generellt i samband med klimatanpassning är det viktigt att förhålla sig till det faktum att det finns olika scenarier för framtiden (MSB; SMHI, 2020).

2.4.2 Tidshorisont

Val av lämplig tidshorisont påverkas av byggnaders och anläggningars förväntade livslängd. För de flesta tillämpningar rekommenderas en tidshorisont om minst 100 år. Ny infrastruktur av stor betydelse planeras ibland för längre tidshorisonter. Ju längre tidshorisont desto osäkrare underlag gällande både hur våra tätorter kommer att utvecklas och hur det framtida klimatet blir.

2.4.3 Klimatfaktor

SMHI har sammanfattat de relativa förändringarna för nederbörd i en tabell som bygger på data för hela Sverige och återkomsttiderna 5, 10, 50 och 100 år, se tabell 4 som är hämtad från (SMHI, 2017). Generellt framgår att ökningen av nederbörd prognostiseras bli ca 10 % till 20 % fram till mitten av århundradet oberoende av utsläppsscenario, därefter ligger det lägre utsläppsscenariot RCP 4,5 kvar kring 20 % ökning, medan det högre utsläppsscenariot RCP 8,5 går mot ca 40 % ökning. Dessa värden återfinns längst ned i tabellen som bedömda klimatfaktorer för samtliga varaktigheter och återkomsttider i hela landet.

Tabell 5. Relativa förändringar i medel över alla återkomsttider och över hela Sverige för olika varaktigheter. Källa: (SMHI, 2017). Bedömda värden längst ner i tabellen anger klimatfaktorer för samtliga varaktigheter och återkomsttider i hela landet.

Varaktighet	2011–2040 (%)		2041–2070 (%)		2071–2100 (%)	
(timmar)	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85
1	9	11	14	20	21	36
2	9	11	15	20	22	38
3	9	11	17	20	21	40
6	7	12	17	21	19	41
12	9	10	15	20	18	38
Bedömning	10	10	15	20	20	40

Läs mer

- Forskningsrapport Säkert och osäkert i klimatscenarierna (MSB; SMHI, 2020).

2.5 Kombinationshändelser

Sammanfattning till beställare av skyfallskartering

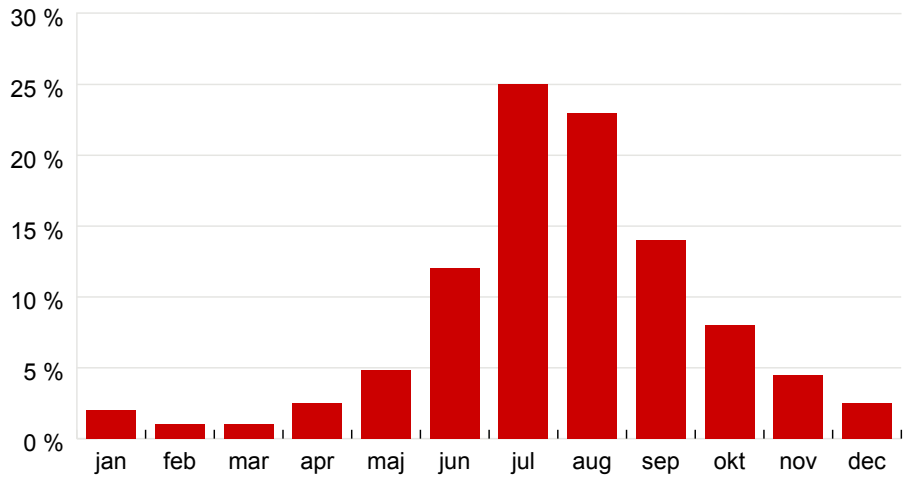
- Skyfall kan antas inträffa under sommar och tidig höst och behöver normalt inte kombineras med risk för höga nivåer i havet. En bedömning bör dock göras utifrån lokala förutsättningar.
- Vid skyfallskartering i områden i anslutning till större sjöar och vattendrag måste den platsspecifika risken för höga vattenstånd efter en långvarig blöt period beaktas.
- Mindre bäckar och vattendrag kan påverkas väldigt mycket av skyfall och ska inkluderas i karteringen.

Kombinationshändelser mellan intensiv nederbörd och höga nivåer i recipient är ett område som är komplext och samtidigt begränsat studerat. En hög recipientnivå i kombination med en skyfallshändelse är en mycket utmanande händelse och risken för detta måste värderas vid en skyfallskartering.

För hav har risken för samverkande händelser bedömts vara låg. Detta då den absoluta majoriteten av skyfall inträffar sommartid, se figur 6, samtidigt som höga havsvattenstånd i första hand sker under höst och vinter. SVU-rapporten 2014–19 ”Identifiering av extrema händelser och dess översvämningskonsekvenser i tätort” tar upp risken för skyfall och samtidigt höga havsvattenstånd.

Rapporten fastslår att det är låg sannolikhet för att ett intensivt regn ska inträffa samtidigt som nivån i havet är hög (Bengtsson, 2014).

Figur 6. Sammanställning över vilken månad som årets största 1-dygnsnederbörd inträffat i landet under perioden 1961–2011 (SMHI, 2020).



Det är emellertid svårare att ge en entydig vägledning rörande situationer med längre varaktighet. Traditionellt hanterar urbanhydrologin förhållandevis kortvariga regn. När regn över flera dygn studeras, passar dessa inte in i de klassiska förklaringsmodellerna, utan det är annan statistik som behöver beaktas. Det kan förväntas att i takt med klimatförändringar och med extrema väderlägen som varar över längre tid, kommer hänsyn behöva tas till kombinationen av höga havsvattennivåer och långvariga, måttligt intensiva regn. Ett exempel på detta är stormen Hans som drabbade Sverige under sommaren 2023. Här krävs mer forskning och insamling av data för att kunna bestämma rätt dimensionerande händelser.

I detta sammanhang är det också lämpligt att påminna om att ta hänsyn till den stigande medelvattenytans betydelse som randvillkor för en skyfallskartering som avslutas med havet. Över tid kommer det bli svårare och svårare att avbörda skyfallsvatten från flacka och lågt liggande områden. Denna effekt behöver beaktas, inte minst för skyfallskarteringar som tar sikte på en tidpunkt i framtiden och där en klimatfaktor tillämpas på regnet. Detta gäller framförallt i södra Sverige på grund av att landhöjningen i norr i viss mån kompenserar för stigande havsnivåer.

För sjöar och vattendrag blir situationen mer komplicerad. Större sjöar, älvar och åar kan ha ett vattenstånd som varierar över lång tid, ibland flera månader. Det får anses vara rimligt att anta att vädret i dessa fall kan skifta från en nederbördsrik period till en period med varmt väder med ökad risk för skyfall, samtidigt som vattendraget eller sjön ännu inte hunnit tappas på sin höga nivå.

Förutsättningarna för detta kommer såklart att variera, beroende på hur vattendraget eller sjön beter sig hydrologiskt. Det går därför inte att göra en generell bedömning, utan det är helt nödvändigt att göra en analys för varje fall. Antingen studeras tillgänglig statistik för hur nederbörd och högvatten samvarierar, eller så får en teoretisk beräkning av sannolikheten för en kombinerad händelse genomföras.

Mindre sjöar och vattendrag kan dock påverkas extremt mycket av skyfall, se kapitel 4.6. Dessa behöver inkluderas i skyfallskarteringen för att få en korrekt representation.

2.6 Geografisk avgränsning

Sammanfattning för beställare av skyfallskartering

- Hela det naturliga avrinningsområdet måste beaktas vid geografisk avgränsning för skyfallskarteringen. Det är exempelvis ej lämpligt att enbart studera administrativa områden eller tekniska avrinningsområden för dagvattensystemet.

Sammanfattning för utförare av skyfallskartering

- Hela det naturliga avrinningsområdet måste beaktas vid geografisk avgränsning för skyfallskarteringen. Om modellen förenklas med avseende på tillrinning från uppströms avrinningsområde, ska det kunna visas att metoden ger tillförlitliga resultat eller att säkerhetsmarginaler och/eller känslighetsanalyser tillämpats för att ta höjd för osäkerheter.
- Områden nedströms tätorten eller intresseområdet som studeras kan också behöva inkluderas då dessa kan ha påverkan på resultaten.
- För stora 2D-modeller ska undvikas, med hänsyn till långa beräkningstider samt storlek på modell- och resultatfiler. En generell tumregel är att inte skapa större modeller än 100 km2, men detta beror helt på modellens detaljeringsgrad, tillgänglig datorkapacitet och simuleringens varaktighet.

Oavsett val av metod ska skyfallskarteringens geografiska avgränsning ske med beaktande av hela det naturliga avrinningsområdet som bidrar med flöden till aktuellt studieområde. Det rekommenderas ej att enbart studera exempelvis ett administrativt område eller tekniskt avrinningsområde för dagvattenförande ledningsnät då påverkan från omkringliggande områden missas. Om avsteg görs från att inkludera hela det naturliga avrinningsområdet, det vill säga om det görs någon form av förenkling, måste det kunna visas att det inte påverkar resultatet. Det måste redovisas hur inflödet från tillrinnande områden har beräknats och beaktats i skyfallskarteringen. Det finns många sätt att göra förenklingar, men vilken metod som väljs kan vara specifik från fall till fall. Därför är det särskilt viktigt att följa upp att metoden ger tillförlitliga resultat eller att säkerhetsmarginaler och/eller känslighetsanalyser tillämpats för att ta höjd för osäkerheter. Mer information om metoder för förenklingar beskrivs i kapitel 4.9.1.

Områden nedströms tätorten eller intresseområdet som studeras ska inkluderas till den punkt där dämmande strukturer och andra begränsningar inte riskerar att påverka resultaten inom studerade områden.

Generellt ska det eftersträvas att inte skapa för stora 2D-modeller. Det är svårt att ge en lämplig tumregel för maximal storlek på avrinningsområdet, eftersom det bland annat är avhängigt upplösning i beräkningsnätet, tillgänglig datorkapacitet och simuleringens varaktighet. En generell tumregel är att inte skapa större modeller än 100 km2. För stora avrinningsområden behöver det ofta hittas en balans mellan modellområdets storlek och detaljeringsgrad för att undvika för tunga modeller och resultatfiler, långa simuleringstider etcetera. För stora avrinningsområden med långa varaktigheter kan kräva stor datorkapacitet för att genomföra långa simuleringar. I dessa fall rekommenderas att modellen anpassas för att öka modellens användarvänlighet och minska risken för stora filer. Exempel på möjliga anpassningar:

- Tillrinningen från uppströms avrinningsområde beräknas separat med valfri metod och appliceras som randvillkor (inflöde) i skyfallsmodellen (se kapitel 4.8.4).
- Beräkningsnätets detaljeringsgrad i uppströms avrinningsområde minskas (se kapitel 4.2.3).
- Skyfallskarteringen delas upp i mindre avrinningsområden och resultat från delmodeller kan användas som randvillkor in i angränsande delmodeller.

2.7 Beställning av skyfallskartering

Sammanfattning för beställare av skyfallskartering

- Med ett tydligt förfrågningsunderlag fås mer jämförbara offerter från utförare.
- Beskriv i vilka format som underlagsdata kan tillhandahållas i, exempelvis om höjddata levereras som laserdata eller färdigbearbetade höjdraster.
- Ställ krav på leverans av skyfallskartering så att formatet är kompatibelt med beställarens programvaror samt att resultaten anpassas för vad de ska användas till avseende filformat, nivåer för vattendjup, flödeshastigheter etcetera.
- Beakta huruvida tidigare skyfallsmodeller redan finns tillgängliga och om dessa kan vidareutvecklas.
- Beakta om det finns andra aktörer inom avrinningsområdet som har nytta av skyfallskarteringen.

Att upprätta en skyfallsmodell innebär ett visst arbete. Innan beställning av en skyfallskartering görs är det bra att beakta om det redan finns en framtagen modell sedan tidigare som kan uppdateras och vidareutvecklas, och på så sätt spara tid. Å andra sidan kan det, beroende på hur omfattande uppdateringar som behövs, vara mindre tidskrävande att ta fram en ny modell från grunden.

För att bedöma om det är bättre att uppdatera en befintlig modell eller att ta fram en helt ny rekommenderas att göra en kvalitetsbedömning av den befintliga modellen och se över vilket behov av uppdateringar som finns. Om det till exempel saknas bra dokumentation över modellen kan det finnas en risk att modellen har inbyggda osäkerheter och antaganden som är okända.

För att hushålla med tid och resurser rekommenderas även att göra en genomlysning av möjliga intressenter som kan ha användning av skyfallsmodellen som tas fram. Exempel på möjliga fördelar med att vara flera aktörer som gör en gemensam beställning:

- Flera delar på investeringskostnaden för modellen.
- Undvika dubbelt arbete.
- Flera parter kan granska modelleringsresultaten.
- Gemensamma lösningar i upp-/nedströmsområden.
- Skapar förutsättningar för långsiktig förvaltning.

Om det finns önskemål om mjukvaror ska detta specificeras och motiveras. Exempelvis om redan existerande modeller ska uppdateras, kompletteras eller kopplas till skyfallsmodellen kan det påverka val av programvara. Tiden och kostnaden för att bygga en skyfallsmodell kan variera med olika programvaror. Vid val av programvara kan det också vara bra att beakta hur många användare programvaran har. Med få användare kan det innebära en ekonomisk eller tidsmässig risk för förvaltning och framtida användning av modellen.

I bilaga 2 ges exempel på hur en beställning av en skyfallskartering kan formuleras.

3. Insamling av underlag

Insamling av underlag behöver ofta ske av beställare inför en skyfallskartering. Underlag som är av relevans för en skyfallskartering kan i många fall redan finnas tillgängligt. Både beställare och utförare behöver kontrollera underlaget i samband med uppdragsstart, innan arbetet påbörjas.

Sammanfattning för beställare av skyfallskartering

- Dokumentera var och när data har hämtats. Denna information bör följa med leverans av underlag och anges i dokumentationen för skyfallskarteringen.
- Börja tidigt med insamling av underlag för att undvika förseningar i projektet.
- Sekretess- och licensavtal kan krävas för nyttjande av data, till exempel för geografiska data, information om ledningssystem och samhällsviktiga objekt.
- Vid hantering av känslig information kan avtal behöva upprättas med konsult.

Sammanfattning för utförare av skyfallskartering

- Dokumentera var och när data har hämtats. Denna information bör följa med leverans av underlag och anges i dokumentationen för skyfallskarteringen.
- Kontrollera och dokumentera eventuella felaktigheter avseende underlaget innan arbeten påbörjas. Exempelvis bör underlagets aktualitet och detaljeringsgrad alltid bedömas.
- Dokumentera och sammanfatta uppdateringar under arbetets gång.

I tabell 5 ges en översikt över underlag som kan behövas vid en skyfallskartering beroende på tillämpningsnivå. I tabellen ges hänvisningar till var underlaget kan hittas samt vilka delar i vägledningen som rör modelluppbyggnaden och som underlaget är aktuellt att användas för. Det är även dessa delar av vägledningen som beskriver detaljer kring upplösning, nödvändiga kontroller av underlag med mera.

Generellt gällande upplösning så behöver underlaget inte ha högre upplösning än den som används i beräkningsnätet (se kapitel 4.2.3 Beräkningsnätets upplösning). Om exempelvis ett beräkningsnät med 4x4 m upplösning används behöver i praktiken övriga underlag inte ha högre upplösning eftersom underlaget interpoleras till beräkningsnätets upplösning. Däremot finns en fördel att utgå från högupplöst underlag för att få en bättre bild av hur verkligenheten ser ut och vid behov kunna göra justeringar i skyfallskarteringen för att bättre beskriva verkligheten.

Tabell 6. Relevanta underlag för skyfallskartering.

Typ av underlag	Relevans för tillämpningsnivå	Underlag	Källa
Höjddata	Alla	Lokala data	Kommun
		Markhöjdmodell Nedladdning, grid 1+[3]	Lantmäteriet
Markanvändning Hänvisning i vägledning: Anpassningar av ostrukturerade beräkningsnät, Anpassningar i höjdmodell, Råhet, Infiltration	Alla	Topografi 10, Nedladdning, vektor[4] Fastighetsindelning Nedladdning, vektor[5]	Lantmäteriet
	Förenklad analys	Hårdgjorda ytor	Nationella marktäckedata NMD 10x10m (Naturvårdsverket)
	Detaljerade och fördjupade analyser.	Hårdgjorda ytor	Erbjuds av leverantörer och konsulter till en kostnad.
Jordartskarta Hänvisning i vägledning: kapitel 4.5 Infiltration	Detaljerade och fördjupade analyser.	Jordartskarta[6]	SGU
		Genomsläpplighet[7]	SGU
Ledningsnät Hänvisning i vägledning: kapitel 4.7 Ledningsnät	Förenklade analyser	Ytor för avdrag, till exempel hårdgjorda ytor eller verksamhetsområde för dagvatten. Bedömd kapacitet för befintligt ledningsnät inom dessa ytor.	VA-huvudman
	Detaljerade och fördjupade analyser.	VA-karta, eventuell ledningsnätsmodell	VA-huvudman
Vattendrag Hänvisning i vägledning: kapitel 4.6 Vattendrag	Detaljerade och fördjupade analyser.	Vattendragsmodell	Kommun, VA-huvudman, vattenvårdsförbund, länsstyrelse, MSB
Nederbördsstatistik Hänvisning i vägledning: kapitel 4.8.1 Nederbördsstatistik	Alla	Regionalt underlag för skyfallsstatistik.	(SMHI, 2017)
		Nationellt underlag för regnstatistik (Dahlström, 2010)	(Svenskt Vatten, 2011)
Klimatfaktor Hänvisning i vägledning: kapitel 2.4 Klimatförändringar	Alla	Nationellt underlag	SMHI

3. https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/produktlista/markhojdmodell-nedladdning-grid-1/.
4. https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/produktlista/topografi-10-nedladdning-vektor/.
5. https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/produktlista/distriktsindelning-nedladdning-vektor/.
6. https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jordarter-25-100.html?-zoom=317368.1540215568,6368216.464931679,344248.20778166427,6381334.491167731.
7. https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-genomslapplighet.html?-zoom=-751562.775624,6120299.579575,1931310.775624,7649590.420425.

Typ av underlag	Relevans för tillämpningsnivå	Underlag	Källa
Randvillkor Hänvisning i vägledning: kapitel 3.6 Randvillkor	Alla	Nivåer i sjöar och hav, vattendrag	Kommun, VA-huvudman, vattenvårdsförbund, SMHI, VISS, MSB
Dokumentation av historiska händelser Hänvisning i vägledning: kapitel 6 Kvalitetsgranskning	Alla	Nederbördsmätning, nivåmätning, flödesmätning, fotografier, drabbade fastigheter	Kommunen, SMHI, kraftverksdammar, MSB
Planerad bebyggelse	Alla	Planerad markanvändning och eventuell höjdsättning.	Kommunen

3.1 Höjddata

Höjddata är det viktigaste underlaget för en skyfallskartering. Lantmäteriet tillhandahåller höjddata från nationella markhöjdmodellen. Höjddata kan laddas ned för önskat område, upplösning (se rekommendationer i kapitel 4.3) och koordinatsystem. Kommuner har ibland egna höjdscanningar som är mer aktuella eller högupplösta än Lantmäteriets. Om det saknas aktuella höjddata till följd av att det har skett exploateringar sedan senaste höjdscanningen kan höjdmodellen behöva kompletteras med inmätningar eller projekterade höjder. För Lantmäteriets markhöjdmodell kan datumet för flygscanningen kontrolleras på Lantmäteriets hemsida.

Underlag

- Kommunens höjddata
- Markhöjdmodell, nedladdning | Lantmäteriet
- Markhöjdmodell, produktionsstatus | Lantmäteriet

3.2 Markanvändning

Information om markanvändning används bland annat som underlag för att specificera markytans råhet (se kapitel 4.4 Råhet), beskrivning av markens infiltrationskapacitet (se kapitel 4.5 Infiltration) och avdrag för ledningsnätets kapacitet (se kapitel 3.4 Ledningsnät). Det kan även behövas för kontroll och eventuella bearbetningar i höjdmodell (se Anpassningar i höjdmodell).

Lantmäteriets produkt Topografi 10 Nedladdning vektor[8] är lämplig att använda för att klassa markanvändning vid skyfallskarteringar. I produkten finns bland annat information om byggnader, markslag (skog, jordbruk, bebyggelsetyp, vattenytor, mm), hydrografi och vägar.

Lantmäteriets produkt Fastighetsindelning Nedladdning vektor[9] innehåller bland annat information om fastighetsgränser, fastighetsbeteckningar, kommungränser och länsgränser.

För skyfallskartering är det även intressant att veta vilka ytor som är hårdgjorda eftersom det är hårdgjorda ytor som ger upphov till snabb avrinning. Information om uppfarter, parkeringsytor och övriga hårdgjorda ytor på privata fastigheter är sällan digitaliserade, men kan tas fram till exempel genom analyser av ortofoton. I dagsläget finns informationen bland annat tillgänglig som öppen data via Naturvårdsverkets Nationella Marktäckedata som har 10x10 meters upplösning. Mer högupplöst data erbjuds av flera leverantörer.

8. https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/produktlista/topografi-10-nedladdning-vektor/ (230915).
9. https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/produktlista/fastighetsindelning-nedladdning-vektor/ (230915).

Underlag

Öppna data

- Nationella Marktäckedata (NMD) | Naturvårdsverket (Naturvårdsverket, 2022)

Geodatasamverkan

- Geodatakatalogen (Länsstyrelserna, 2022)
- Topografi 10 | Lantmäteriet
- Fastighetsindelning Nedladdning vektor | Lantmäteriet

3.3 Jordarter och genomsläpplighet

En jordartskarta behövs om infiltrationskapaciteten i marken ska modelleras (se kapitel 4.5). Sveriges geologiska undersökning (SGU) tillhandahåller underlag för jordarter och genomsläpplighet, som kan erhållas som GIS-filer.

Det bör beaktas att det råder stor variation avseende täckningsgrad och kvalitet i underlagen för de olika regionerna i landet.

Underlag

- Geologiska data (sgu.se)
- SGU:s Kartvisare

3.4 Ledningsnät

Oberoende av tillämpningsnivå och val av metod för att beskriva ledningsnät behövs en VA-karta som underlag för att bedöma vilka områden som eventuellt ska beaktas i skyfallskarteringen. VA-karta inhämtas hos VA-huvudmannen för aktuell tätort. Utöver en VA-karta kan information behöva inhämtas från Trafikverket, kommunens gatuhållare och privata fastighetsägare.

Underlag för ledningsnät kan utifrån krav från vissa aktörer vara förknippat med sekretess, vilket bör beaktas i samband med underlagsinhämtning.

Där ledningsnätet förväntas ha en avgörande effekt på översvämningens utbredning bör skyfallsmodellen på detaljerad eller fördjupad nivå kopplas ihop med en modell som beskriver ledningsnätet. Om en ledningsnätsmodell saknas behöver det upprättas en sådan. Till detta krävs följande koordinatsatta underlag:

- Brunnar med information om dimension och typ.
- Ledningar med information om dimension, material, vattengångar i till- och frånpunkt.
- Diken med tvärsektioner.
- Pumpkapaciteter och driftnivåer.

- Backventiler.
- Magasinsvolymer med information om geometri och eventuella flödesreglering.
- Dagvattenutlopp.
- Uppgifter om ytor som avvattnas till ledningsnätet, exempelvis om fastigheter med tillhörande anslutningspunkt.
- Om det är kombinerat eller separat system och om det finns bräddpunkter till spillvattensystem.

3.5 Vattendrag

Om tätorten som karteras ligger i anslutning till vattendrag ska det beaktas om dessa behöver inkluderas i skyfallsmodelleringen (se även kapitel 4.6 Vattendrag). Där vattendraget förväntas ha en avgörande effekt på översvämningens utbredning bör skyfallsmodellen på detaljerad eller fördjupad nivå kopplas ihop med en modell som beskriver vattendraget. Om en vattendragsmodell saknas behöver det upprättas en sådan.

Tänk på att kontrollera om det aktuella vattendraget har utretts tidigare. Kommunen, VA-huvudmannen, vattenvårdsförbund och länsstyrelser är exempel på aktörer som kan ha vattendragsmodeller.

För vissa vattendrag finns modeller framtagna av MSB som är fria att hämta ladda ner. MSB har även tagit fram en vägledning för modellering av vattendrag.

Underlag

- Översvämningsportalen (msb.se)
- Vägledning för översvämningskartering av vattendrag (MSB, 2014)

3.6 Randvillkor

Vilka randvillkor som behöver inhämtas som underlag för skyfallskarteringen beror av modellens geografiska avgränsning, det vill säga var modellen börjar och slutar (se kapitel 2.6).

Underlag som kan vara aktuella att samla in:

- Inflöden till vattendrag.
- Nivåer i recipient.

Underlag för hydrologiska och oceanografiska data

- Vattenwebb | SMHI
- Sjöar och vattendrag | SMHI
- Havsvattenstånd | SMHI
- Översvämningskarteringar | MSB

4. Metod

Kapitel 4 beskriver metoder för hur skyfallskarteringar tas fram kopplat till valt tillämpningsområde. Kapitlet riktar sig i första hand till utföraren.

I kapitel 2.1 anges att val av metod för skyfallskartering ska ske med hänsyn till syftet med karteringen som sätter tillämpningsnivån för skyfallskarteringen. I följande kapitel ligger fokus vid att ge vägledning och rekommendationer för detaljerade och fördjupade analyser med dynamiska verktyg. För förenklade analyser med statiska verktyg utgår många av de moment som följer, men de kapitel som även är relevanta i samband med förenklade analyser är:

- Kapitel 4.1 Mappstruktur och namngivning av filer
- Kapitel 4.3 Höjdmodell
- Kapitel 4.5 Infiltration
- Kapitel 4.7 Ledningsnät

4.1 Mappstruktur och namngivning av filer

Rekommendation för namngivning av filer

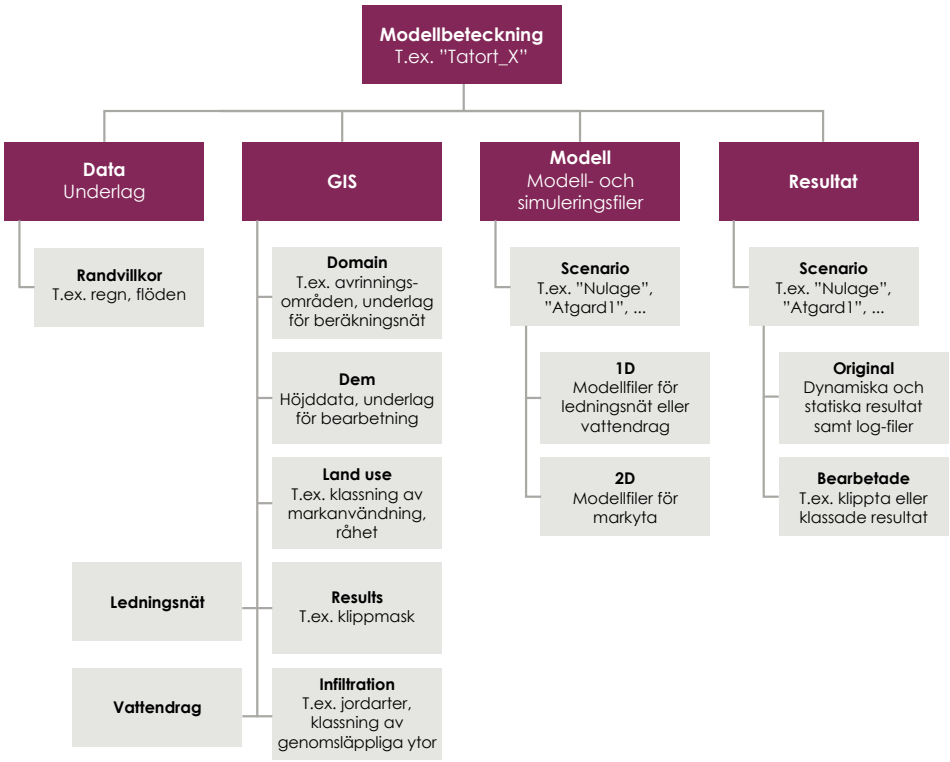
- Det rekommenderas att tidigt skapa en tydlig mappstruktur och nomenklatur för filer.
- Namngivning av mappar och modellfiler sker utan mellanslag och specialtecken inklusive bokstäverna å, ä och ö. Långa filnamn och sökvägar ska undvikas.

Det rekommenderas att tidigt i projektet besluta om och dokumentera en princip för mappstruktur och namngivningen av filer i projektet. Detta för att hålla ordning bland arbetsmaterial och för att arbetet på ett enkelt sätt ska kunna lämnas över till nya resurser om behovet så uppstår.

Vid namngivning av mappar, modell- och resultatfiler ska mellanslag och specialtecken undvikas, 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. Långa filnamn och sökvägar ska undvikas.

I figur 7 ges exempel på mappstruktur för detaljerade och fördjupade analyser. Det rekommenderas att ha separata mappar för modell- och resultatfiler för att underlätta hantering.

Figur 7. Mappstruktur för detaljerade och fördjupade analyser.



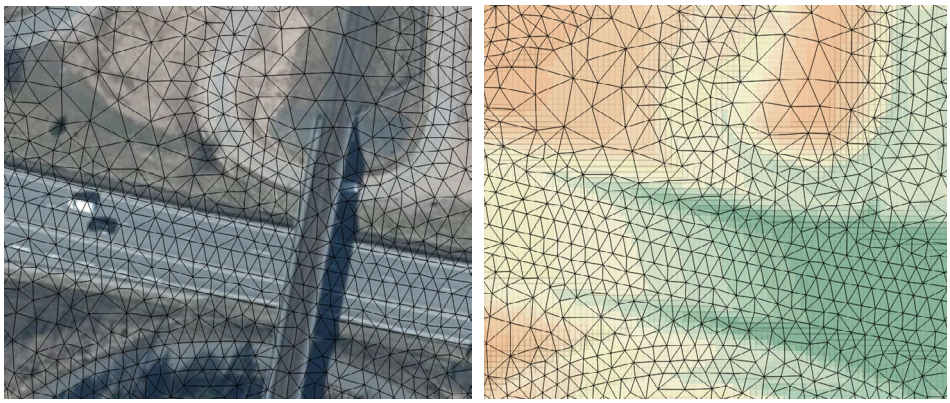
4.2 Beräkningsnät

Sammanfattning för utförare av skyfallskartering

- Beräkningsnätet ska anpassas efter skyfallskarteringens geografiska avgränsning.
- Val av beräkningsnätets upplösning ska ske med hänsyn till modellens användningsområde. Rekommendationer för upplösning ges i tabell 6.
- För fördjupade analyser ska beräkningsnätet anpassas för att fånga upp avrinningsväg, naturliga fördröjningsvolymer och andra viktiga strukturer i avrinningsområdet.
- Dokumentera val av beräkningsnät och vilka detaljer som inkluderas i beräkningsnätet.

I en hydraulisk modell är det beräkningsnätet som bestämmer i vilka punkter beräkning sker. Det innebär att det är beräkningsnätets upplösning som avgör modellens detaljeringsgrad. Beräkningsnätet definieras med avseende på geografiskt område (modelldomän), form på beräkningscellerna och upplösning. I figur 8 visas ett exempel på ett beräkningsnät med varierande upplösning.

Figur 8. Exempel på beräkningsnät med varierande upplösning. En väg med fyra körbanor representeras med 5 till 7 beräkningspunkter.



4.2.1 Modelldomän

Beräkningsnätets yttre gräns ska anpassas efter den geografiska avgränsningen (se kapitel 2.6).

4.2.2 Form på beräkningscellerna

En beräkningscell i ett beräkningsnät kan vara kvadratisk, rektangulär eller triangulär. Upplösning anges i längd på kvadrater eller area för trianglar och rektanglar.

4.2.3 Beräkningsnätets upplösning

Rekommendationer för beräkningsnätets upplösning ges i följande kapitel beroende på om samma upplösning används i hela modellområdet, eller om varierande upplösning används.

4.2.3.1 Samma upplösning inom hela modellområdet

Beräkningsnät med samma upplösning i hela modellområdet är lämplig oavsett tillämpningsnivå, förutsatt att upplösningen är tillräckligt god för syftet med karteringen.

I tabell 6 ges rekommenderade lägsta upplösningar med hänsyn till skyfallskarteringens tillämpningsområde. Med lägsta upplösning menas att beräkningscellerna har en area som är samma eller mindre än vad som angivits. I de fall där en lägre upplösning än de som rekommenderas i tabell 6 väljs ska denna motiveras, helst genom en känslighetsanalys så att påverkan på resultatet redovisas (se kapitel 5).

Tabell 7. Rekommenderad lägsta upplösning för beräkningsnät med samma upplösning i hela modellområdet.

Tillämpningsområde	Lägsta upplösning (grid/triangulärt nät)
Förenklad analys *	8 x 8 m / 64 m^2 eller mindre
Detaljerad analys	4 x 4 m / 16 m^2 eller mindre
Fördjupad analys	2 x 2 m/ 4 m^2 eller mindre

* Observera att förenklad analys kan med fördel genomföras med hög upplösning i höjddata. Begränsningarna i metoden är främst kopplade till förenklingar i metod.

4.2.3.2 Varierande upplösning inom modellområdet

Varierande upplösning rekommenderas endast vid fördjupade eller detaljerade analyser eftersom det kan vara en tidskrävande process att skapa ett sådant beräkningsnät. En fördel med denna typ av beräkningsnät är möjligheten att få en högre upplösning i tätbebyggda områden och lägre upplösning i icke-urbana områden, och på så sätt optimera skyfallskarteringen och användningen av datorkapacitet.

När varierande upplösning används är det viktigt att kontrollera resultat i områden där grövre beräkningsnät används. Här finns risk för att vatten tar fel väg samt att den tillgängliga fördröjningsvolymen i avrinningsområdet inte representeras. Vid användning av grövre beräkningsnät är det även viktigt att se över om det finns strukturer i avrinningsområdet som kan ha betydelse för skyfallsavrinningen, exempelvis stora sjöar och magasin, dämmen och dylikt, så att dessa kan fångas upp i modelluppbyggnaden.

I tabell 7 ges rekommendationer för beräkningsnätets lägsta upplösning för olika typer av förhållanden. Med lägsta upplösning menas att beräkningscellerna har en area som är samma eller mindre än vad som angivits.

Tabell 8. Rekommenderad lägsta upplösning inom och utanför intresseområden för olika förhållanden i beräkningsnät där upplösningen varierar i modellområdet. Rekommenderad upplösning har angetts i enheten kvadratmeter eftersom beräkningsnätet är ostrukturerat vilket innebär att formen på cellerna varierar.

Typ av område		Lägsta upplösning (m^2)
Inom tätort och intresse-område	Generellt	5
	Vägar, vattendrag och viktiga rinnvägar	2
Utanför tätort och intresseområde	Generellt	50
	Vägar, vattendrag och viktiga rinnvägar	5
	Skog eller åkermark	50
	Sjöar och hav	500

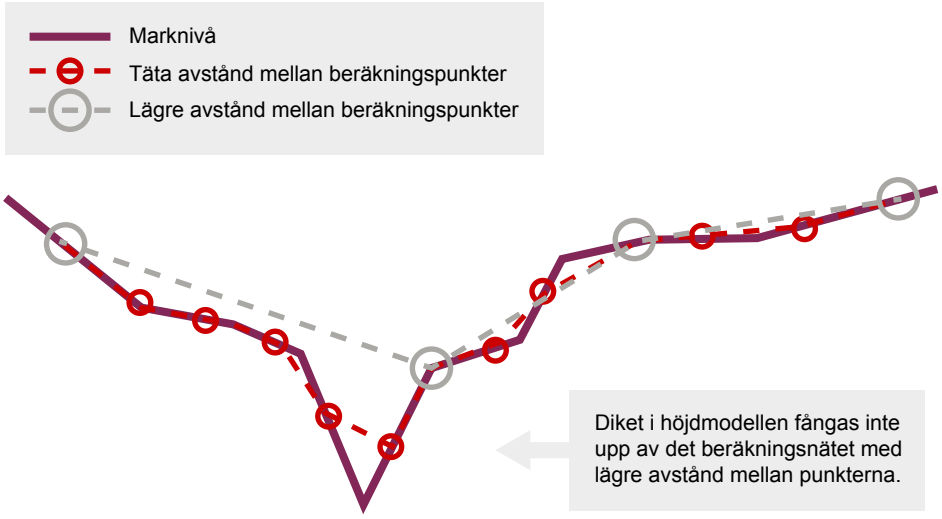
4.2.4 Anpassningar av beräkningsnät vid fördjupade analyser

Vid framtagande av beräkningsnät behöver detaljer som påverkar avrinningen beaktas. Behovet av att anpassa beräkningsnätet för detaljer varierar med skyfallskarteringens syfte och valda detaljeringsgrad samt beräkningsnätets och höjdmodellens upplösning. Följande anvisningar gäller för ostrukturerade beräkningsnät vid fördjupade analyser.

Vår rekommendation är att beräkningsnätet anpassas för följande:

- **Upphöjda och nedsänkta strukturer**: Beräkningsnätet kan behöva anpassas för att få en bra beskrivning av hur vattnets transport påverkas av upphöjda eller nedsänkta strukturer i den byggda miljön. Exempel på sådana strukturer är byggnader, gångbroar, trånga passager mellan byggnader, gång- och cykeltunnlar, murar, bullerskydd, vallar, järnvägsbankar och öppningar i dessa. Strukturer med en storleksordning som är mindre än beräkningsnätets eller höjdmodellens upplösning bör representeras som 1D strukturer.
- **Vägar**: I urbana miljöer sker vanligtvis en stor transport av vatten på vägar. Av den anledningen är det särskilt viktigt att vägnätet kan beskrivas med god detaljeringsgrad, för att fånga upp detaljer i höjdmodellen som påverkar huruvida vatten hålls kvar på vägen eller rinner av vägbanken.
- **Järnvägar:** Järnvägsbankar utgör ofta hinder för vattentransport. Ett mer detaljerat beräkningsnät i anslutning till järnvägar är önskvärt för att fånga upp höjdskillnader samt för att ansätta värden för råhet och infiltration.
- **Diken och vattendrag:** I diken och vattendrag är det viktigt med en högre detaljeringsgrad i beräkningsnätet för att fånga upp flödesvägen i höjdmodellen. Med ett för grovt beräkningsnät finns risk att flödesvägen återges med för liten tvärsektion eller missas helt vilket kan leda till att skyfallsavrinningen inte inryms och tar andra vägar än avsett. Ett exempel visas i figur 9. Det är även viktigt att kontrollera att beräkningsnätet inte är för grovt vid flödesvägar så att flödesvägen återges på ett felaktigt sätt, exempelvis att höjdmodellen blir gropig eller oregelbunden.

Figur 9. Exempel på hur beräkningsnätets uppbyggnad och upplösning påverkar interpolering av höjddata.



4.3 Höjdmodell

Sammanfattning för beställare av skyfallskartering

- Höjdmodellens upplösning påverkar skyfallskarteringens pålitlighet. Som minimikrav ska en upplösning mellan 1 och 2 meter eftersträvas i tätorter.
- Höjdmodellens upplösning och aktualitet ska dokumenteras.
- Strukturer som påverkar vattnets transport, exempelvis byggnader, vägar, broar, vallar, barriärer, tunnlar och kulvertar, behöver inventeras.

Sammanfattning för utförare av skyfallskartering

- Strukturer som påverkar vattnets transport, exempelvis byggnader, vägar, broar, vallar, barriärer, tunnlar och kulvertar, måste beaktas och i de flesta fall korrigeras i höjdmodellen eller på annat sätt inkluderas i modelluppbyggnaden. Bearbetningar ska dokumenteras.
- Som minimikrav bör byggnader höjas med 2 meter. Takytor ska vara jämna eller luta utåt.

4.3.1 Höjdmodellens upplösning

Generellt rekommenderas att en upplösning mellan 1 och 2 meter eftersträvas för höjdmodeller i tätorter. Observera dock att modellens detaljeringsgrad i första hand styrs av beräkningsnätets upplösning, se kapitel 4.2.3. Där beräkningsnätets upplösning är lägre än höjdmodellens sker en interpolering av höjddata för att anpassas till beräkningsnätet. Interpolering kan ske genom olika matematiska metoder och kan variera med programvara.

Oberoende av vilken upplösning för höjddata som används vid skyfallskarteringen kan högupplöst höjddata ändå behövas för kontroll och granskning av resultat. För att följa upp vilka strukturer som missas vid karteringen och hur det påverkar resultatet kan exempelvis kontroll utföras genom att jämföra skillnader mellan ursprungligt underlag och den som används för karteringen (subtrahera höjdmodellen med lägre upplösning från den med högre). I områden med stora förändringar kan kontroller göras för hur det har påverkat resultaten.

4.3.2 Dokumentation

Höjdmodellens upplösning och aktualitet (datum för flygskanning) ska dokumenteras. Där höjdmodellen har skapats från projekterat höjdunderlag eller ett lokalt punktmoln ska dessa också redovisas.

4.3.3 Anpassningar i höjdmodell

Vid framtagande av höjdmodell behöver detaljer som påverkar avrinningen beaktas. Behovet av att anpassa höjdmodellen för detaljer varierar med skyfallskarteringens syfte och valda detaljeringsgrad, beräkningsnätets och höjdmodellens upplösning.

4.3.3.1 Byggnader

Om byggnader ej finns representerade i höjdmodellen rekommenderas att de höjs upp från omgivande terräng. En lämplig höjning är minst 2 meter. Vid fördjupade eller detaljerade analyser i dynamiska modeller ökar risken för instabiliteter ju högre takytorna höjs i förhållande till omgivande mark.

Takytorna ska vara jämna eller luta utåt från byggnaden för att undvika instängda volymer.

Kvartersstrukturer med innergårdar ska kontrolleras med avseende på om det finns gångpassager där vatten kan rinna ytledes ut till gatan, i sådana fall ska innergårdar fyllas igen i höjdmodellen eller passager öppnas upp. Även luftburna gångpassager mellan byggnader behöver tas bort.

4.3.3.2 Vägar

Vid högupplösta modeller (~1 meter) bör höjdmodellens beskrivning av vägbanorna vara tillräcklig och minimikrav är att inga ändringar behövs.

Vid grövre upplösningar än 1 till 2 meter rekommenderas att kontrollera hur vald upplösning i höjdmodell och/eller beräkningsnät påverkar representationen av vägar. Justeringar i höjdmodell kan exempelvis behövas för att förstärka flödesvägar på vägar inom tätort som har höga kantstenar, exempelvis genom att sänka ner vägen med motsvarande höjden på en kantsten. Detta kan också vara fördelaktigt om en lågupplöst höjdmodell används vid skyfallskartering som sker med koppling till ledningsnät, för att fånga upp vatten från gatan i kopplingspunkterna till ledningsnätet. I områden där kantstenar saknas kan dock en sänkning av gatan vara olämplig.

4.3.3.3 Broar, tunnlar, kulvertar och övriga öppningar

Det är viktigt att strukturer som broar, tunnlar, kulvertar och andra öppningar i väg- och järnvägsbankar inkluderas i skyfallskarteringen. Det vanligaste är att göra justeringar direkt i höjdmodellen, exempelvis genom att vägbanor sänks ned vid broar. I Lantmäteriets nationella höjdmodell har större broar korrigerats men mindre strukturer behöver bearbetas manuellt. Observera att när justeringar görs i höjdmodellen är risken stor att överskatta kapaciteten genom denna typ av öppningar, vilket särskilt kan påverka resultaten för nedströms liggande områden.

Tips

- För att identifiera strukturer som blockerar flödesvägar kan en skyfallskartering genomföras i en höjdmodell utan korrigeringar. Skyfallskarteringen visar då var det blir översvämningar där vatten förväntas rinna undan.
- I Lantmäteriets produkt Topografi 10 finns vektorlager för broar och överfart som kan användas för att lokalisera behov av korrigeringar. Hydrografilinjer kan jämföras mot väg- och järnvägslinjer för att hitta troliga kulvertar. Observera att Lantmäteriets underlag inte är heltäckande utan kan behöva kompletteras med underlag från kommunen avseende trummor och diken.

4.3.3.4 Strukturer som är mindre än modellens upplösning

Bullervallar, murar, och staket är exempel på mindre strukturer som inte kan representeras i höjdmodellen men som kan ha en stor påverkan på flödesvägar i urbana områden. Sådana strukturer bör identifieras vid ett fältbesök. De flesta modellverktyg ger möjlighet att representera sådana typer av strukturer med funktioner som ger en endimensionell beskrivning av flödet, det vill säga hur vatten transporteras från ett beräkningselement till ett annat kan styras, till exempel utifrån vattennivå.

4.3.3.5 Vattenytor för sjöar, hav och större vattendrag

Vattenytor ska alltid kontrolleras i höjdmodellen och vid behov justeras.
Två vanliga fel är:

1. Nivån på vattenytor, som ofta är från laserskanningen, är lägre eller högre än vad som är önskat för karteringen.
2. Nivån på vattenytor i höjdmodellen är dåligt triangulerad. Ytorna ska då jämnas till.

4.3.3.6 Vattendrag

Om vattendrag bedöms kunna ha en betydande påverkan vid en skyfallshändelse (se kapitel 4.6) kan höjdmodellen justeras med inmätningar av vattendraget. Ett alternativ till att inkludera vattendraget i höjdmodellen är att upprätta en separat modell för vattendraget.

4.4 Råhet

Ytavrinning påverkas av markens råhet (friktion) som varierar med markanvändningen. Den mest använda friktionsformeln för att beskriva råheten är Mannings formel. För att använda Mannings formel behöver markanvändningen beskrivas uttryckt i Mannings tal M ($m^{1/3}/s$). Ju högre Mannings tal M är desto snabbare rinner vattnet. Andra vanliga friktionsformler/konstanter är Mannings skrovlighetskoefficient n (n = 1/M), Chézys koefficient C och Nikurades ekvivalenta sandråhet k_s.

I tabell 8 ges rekommendationer om metod för att beskriva råhet med hänsyn till tillämpningsområde.

Tabell 9. Rekommenderad metod för beskrivning av råhet med hänsyn till tillämpningsområde.

Tillämpningsområde	Rekommenderad metod
Förenklad analys	Råhet beaktas ej i statiska modellverktyg
Detaljerad och fördjupad analys	Varierande med markanvändningen

Generellt bör en horisontell upplösning mellan 1 och 2 meter eftersträvas i tätorter.

Det är även viktigt att tänka på hur markanvändningen överlagras vid beskrivning av markytans råhet, eftersom vissa ytor kommer att förekomma i flera lager. Exempelvis ska lagret för vägytor ligga ovan lagret som beskriver markytan. Nedan ges rekommenderad prioriteringsordning för överlagring av olika typer av markanvändning (1 ligger överst). Den rekommenderade prioriteringsordningen baseras på det som normalt ligger överst.

1. Takyta.
2. Vattenyta.
3. Vägyta.
4. Järnvägsyta.
5. Hårdgjorda ytor (torg, uppfarter, parkeringsytor, berg i dagen med mera). Observera att hårdgjorda ytor kan vara grusade ytor.
6. Genomsläppliga ytor i exploaterade områden (till exempel tomter, parker, bostadsområden).
7. Genomsläppliga ytor i oexploaterade områden samt övriga ytor (till exempel skog och åkermark).

Tabell 10. Rekommenderade startvärden för att beskriva markytans råhet med Mannings tal. Råheten kan behöva anpassas efter lokala förhållanden, exempelvis i vattenstråk och bevuxna ytor.

Markanvändning	Mannings tal M [$m^{1/3}/s$]	Kommentar
Takytor	50	Bedömt värde baserat på tabellvärden för olika material i Bilaga 5, SV:s riktlinjer för spillvattenförande system och dagvatten-system (Svenskt Vatten Utveckling, 2016).
Vattenytor (hav, sjö, vatten-dragsyta, anlagt vatten, glaciär)	50	När vattenytor beskrivs i höjdmodellen ska ett lågt motstånd (högt Mannings tal) tillämpas.
Vattenstråk (hydrografilinjer)	20	Tolkning av rekommenderade värden för naturliga vattendrag enligt Chow (1959) .
Vägar	70	Rekommendation för asfalt är 70–85 enligt VVMB310 (Vägverket, 2008) och 63–77 enligt Chow (1959).
Övriga vägar och hårdgjorda ytor (torg, parkeringar, uppfarter)	40	Bedömt värde
Järnvägar med krossat material	5	Bedömt värde
Tät bebyggelse med hög andel hårdgjorda ytor (sluten bebyg-gelse, industri- och handels-bebyggelse)	30	Bedömt värde
Övrig bebyggelse (låg eller hög)	15	Bedömt värde
Kalfjäll (berg i dagen)	30	Hydraulik för samhällsbyggnad (Häggström, 2009) .
Skog (barr- och blandskog, lövskog, fjällbjörkskog, frukt-odling), åkermark med buskar	5	Rekommendation för naturmark åkrar med buskar enligt P110 tabell 4.16 (Svenskt Vatten, 2016).
Övrig öppen mark med låg vege-tation samt ej klassificerade ytor	20	Rekommendation för naturmark åkrar med gräs enligt P110 tabell 4.16 (Svenskt Vatten, 2016).

4.5 Infiltration

Sammanfattning för beställare av skyfallskartering

- Infiltrationskapacitet kan spela ett avgörande roll för översvämningens utbredning men är svårt att modellera. Rekommendationer för lämplig metod ges för olika tillämpningsnivåer men om möjligt bör val av metod för att beskriva infiltration utvärderas genom en känslighetsanalys.

Sammanfattning för utförare av skyfallskartering

- Val av metod för att representera infiltration ska motiveras, helst genom en känslighetsanalys.
- I de fall infiltration kan ha stor betydelse för resultatet, exempelvis i områden med genomsläppliga jordarter, rekommenderas att inte beräkna infiltration med schablonavdrag utan i stället tillåta infiltrationen att variera i tid och rum. Då parametervalet är en utmaning kan det vara nödvändig att utföra en geoteknisk undersökning. Standardvärden har inkluderats i denna vägledning, men ska alltid anpassas till lokala förhållanden.

Vid skyfallsmodellering är det markens infiltrationskapacitet i den omättade zonen (ovan grundvattennivån) som är intressant. I den omättade zonen sker vattentransporten vertikalt, medan den i den mättade zonen sker horisontellt. Infiltrationskapaciteten i marken påverkas av en mängd faktorer, varav några exemplifieras nedan:

- Jordarter i den omättade zonen (infiltrationszonen). Olika jordarter har olika egenskaper (exempelvis kornstorlek, vattenhalt) som påverkar infiltrationskapaciteten. Jordlagrets mäktighet i den omättade zonen är också av betydelse för infiltrationskapaciteten.
- Markanvändning som påverkar det översta jordlagret. I urbana områden kan marken förväntas vara mer kompakterad än i orörd naturmark. I skogsområden som vanligen består av mull i översta jordlagret hålls mer vatten kvar och tillåter högre andel infiltration.
- Växtlighet. Påverkar hur mycket vatten som når markytan samt hur mycket vatten i marken som växter tar upp över tid.
- Topografin. Vid kraftig marklutning kan mer vatten rinna vidare i stället för att infiltrera genom markytan.
- Grundvattennivån. Vid höga grundvattennivåer påverkas tillgänglig magasinsvolym i markmagasinet.
- Årstidsvariationer. Mättnadsgraden i marken och eventuell tjäle påverkar hur mycket vatten som marken kan ta emot. Under högsommarmånader när skyfall är vanliga kan det råda torka, vilket påverkar infiltrationskapaciteten i vissa jordar medan till exempel sandiga och grusiga jordarter påverkas i lägre utsträckning.

Beräkningar av infiltration i den omättade zonen är förknippad med mycket stora osäkerheter. Detta dels på osäkra underlag avseende jordens sammansättning i marken, dels på att det finns stora variationer i jordens egenskaper.

Vid modellering av skyfall kan infiltrationen hanteras på olika sätt och det är inte garanterat att de mer avancerade metoderna (se kapitel 4.5.3) ger ett mer pålitligt resultat, då parametervalet oftast är en utmaning. Generella riktlinjer föreslås i tabell 10, men valet anses variera från fall till fall.

Eftersom förutsättningar för infiltration ofta är okända rekommenderas att genomföra en skyfallskartering både med och utan hänsyn till infiltration. Det ger en känslighetsanalys och bedömning av hur mycket infiltrationen kan påverka resultaten. Generellt gäller att ju mer genomsläppliga jordarter desto större betydelse för resultaten. Därefter kan val av metod göras, med en tydlig motivering som anges i modelldokumentationen. I fall där infiltration visas vara avgörande bör mer avancerade metoder väljas. För att fastställa platsspecifika infiltrationsparametrar krävs geotekniska undersökningar.

Tabell 11. Rekommenderad metod för beskrivning av infiltration med hänsyn till tillämpningsområde.

Tillämpningsområde	Rekommenderad metod
Förenklad analys	Ett generellt schablonavdrag, eller schablonavdrag som varieras efter markanvändning.
Detaljerad analys	Schablonavdrag som varieras efter markanvändningen, eller användning av infiltrationsmodul.
Fördjupad analys	Schablonavdrag som varieras efter markanvändningen, eller användning av infiltrationsmodul.

4.5.1 Generellt schablonavdrag för infiltration

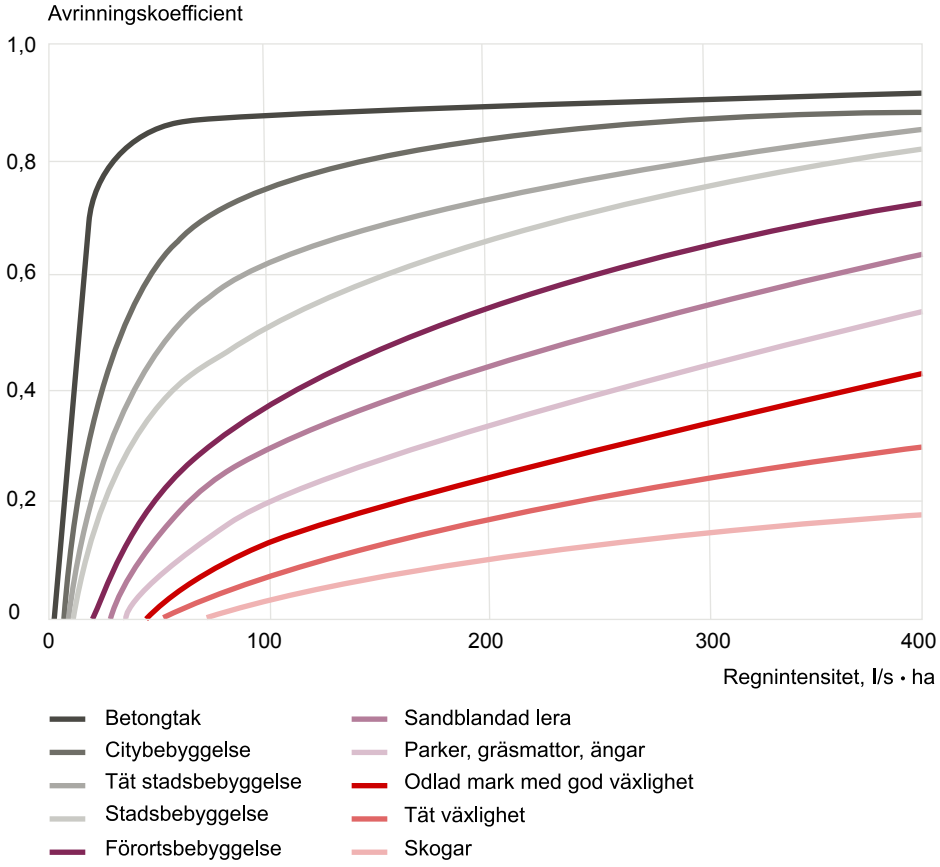
För förenklade analyser kan ett generellt schablonavdrag göras för att beakta infiltration. I detta fall kan infiltrationskoefficienten sättas till mellan 0,7 och 1,0 av den totala nederbördsbelastningen. Det innebär att hela regnet reduceras med vald faktor, med andra ord antas infiltrationen variera med regnets intensitet. Vald koefficient bör justeras med storleken på regnet. Metoden ger en mycket osäker beskrivning av infiltrationskapaciteten och det rekommenderas att den endast används i sammanhang när osäkerheter kan accepteras. Schablonavdraget kan även förfinas, se kapitel 4.5.2.

4.5.2 Varierande schablonavdrag för infiltration

Som alternativ till att göra ett generellt schablonavdrag kan avdraget för infiltration varieras efter markanvändning, återkomsttid och topografiska förhållanden. Även denna metod förknippas med osäkerheter och det rekommenderas att den endast används vid förenklad eller detaljerad analys där viss osäkerhet kan accepteras. Jämfört med ett generellt schablonavdrag för hela modellområdet (se kapitel 4.5.1) förfinas schablonavdraget exempelvis med hänsyn till:

- Typ av jordarter inom avrinningsområdet, ju större andel genomsläppliga jordarter desto större avdrag.
- Andel genomsläppliga ytor inom avrinningsområdet, ju större andel genomsläppliga ytor desto större avdrag.
- Topografiska förhållanden i avrinningsområdet, ju större marklutning desto mindre avdrag.
- Storlek på regn, ju större regn som studeras desto mindre avdrag. I figur 10 visas ett exempel på hur avrinningskoefficient för olika markanvändningar varierar med regnintensitet.

Figur 10. Avrinningskoefficientens variation med regnintensitet och markanvändning (Chalmers, 1995).



4.5.3 Infiltrationsmodul

För fördjupade och detaljerade studier rekommenderas att infiltration beskrivs med en metod som kan beakta hur infiltrationen varierar över tid och med hänsyn till markanvändning, jordarter, mättnadsgrad med mera. Olika modellverktyg inkluderar olika sätt att simulera infiltration. De mest vanliga beskrivningarna är Green-Ampt, Horton, ”Initial Loss/Continuing Loss” och mjukvaruvarianter av dessa. En utmaning med samtliga metoder är att sätta relevanta parametervärden.

Exempelvärden för parametrarna som behövs oavsett val av metod visas i tabell 11. Dessa värden ska anses som rimliga startvärden när infiltration modelleras men bör alltid anpassas till lokala förhållanden. Eftersom variationerna i kapacitet för olika jordarter är mycket stora är det lämpligt att göra känslighetsanalyser på infiltrationen, läs mer om detta i kapitel 5.

I Sverige utgår parametervalet oftast ifrån SGU:s jordartskarta. Vid användande av SGU:s jordartskarta bör det observeras att jordartskarteringen är förknippad med osäkerheter, samt att jordarter är heterogena och sällan helt särskilda från andra jordarter. Underlaget bör också nyttjas med försiktighet i tätbyggda urbana områden, där det översta jordlagret ofta har ersatts av annat material som matjord eller fyllnadsmassor. Människans påverkan ska även beaktas för grönytor i urbana områden där det översta marklagret sannolikt är mer kompakterad än i naturområden med mindre mänsklig närvaro.

Initiala förhållanden, såsom grundvattennivåer och markfuktighet, bör också beaktas med lämpligt starttillstånd i vald infiltrationsmodell. Skyfall antas oftast inträffa under sommarmånaderna när marken är torr och grundvattennivåerna är låga, men detta antagande bör anpassas till lokala förhållanden.

Tabell 12. Exempelvärden för beskrivning av jordarters egenskaper. Dessa har tolkats från litteratur där färgmarkering i tabell anger källhänvisning till litteratur. Där färgmarkering saknas har förslag angetts.

Jordartsklass	Infiltrationskapacitet (mm/h)		Porositet (%)		Mättnadsgrad (%)
	min	max	min	max	
Grus	36 000	3 600 000	30	50	15
Sand	36	360 000	25	50	10
Morän	0,000036	36	15	25	20
Silt	0,036	360	30	60	30
Ler	0	0,036	45	75	35
Gyttja, torv	0,018	180	80	95	20
Matjord	0,00036	3,6	40	60	20
Berg	0	114	5	15	10
Vatten, glaciär	0	0	0	0	100

Litteratur	Titel	Källa
	Hur kan infiltration i åkermark beskrivas vid skyfallskartering?	(Hilgers & Ahl, 2020)
	Jords egenskaper	(Larsson, 2008)
	P46 Lokalt omhändertagande av dagvatten - LOD	(Svenska vatten- och avloppsverksföreningen (VAV), 1983)
	Termiska egenskaper i jord och berg	(Sundberg, 1991)
	Hydraulisk konduktivitet i Sveriges berggrund	(SGU, 2021)

4.6 Vattendrag

Om tätorten som studeras ligger i anslutning till vattendrag ska det oavsett tillämpningsnivå beaktas om vattendrag behöver inkluderas i skyfallsmodelleringen. Generellt gäller att ju större vattendraget är, desto mindre påverkas det av lokala skyfall, men det finns undantag. I urbana miljöer finns det ofta kulvertar i vattendragen som är dimensionerade för långvariga händelser men som inte kan klara ett kortvarigt skyfall som ger högre flöden.

Exempel på när en mer detaljerad beskrivning av vattendrag kan vara motiverad:

- Där det finns dagvattenutlopp till vattendraget som påverkas av nivån i vattendraget, exempelvis så att det orsakas dämningseffekter i ledningsnätet.
- Det finns stora värden i nära anslutning till vattendraget och där en översvämning kan leda till konsekvenser och/eller åtgärdsbehov.
- Kännedom eller erfarenheter av tidigare händelser som lett till översvämningsproblematik.
- Bedömning av erosionsrisker i samband med översvämningar.

För att ta inkludera vattendrag i skyfallsmodellen behöver bottennivåer under vattenytan mätas in. Dessa kan sedan beskrivas i antingen en 1D-dimensionell modell som kopplas till skyfallsmodellen eller direkt i höjdmodellen. Om vattendrag beskrivs i höjdmodellen ska beräkningsnätet ha tillräckligt hög upplösning för att fånga upp kapaciteten i vattendraget och undvika att det skapas för stora lutningar i beräkningscellerna som kan medföra en risk för instabiliteter. Viktiga strukturer i vattendraget såsom broar och kulvertar måste också beaktas.

Koppling av modeller
För kopplingar mellan vattendrag och markyta rekommenderas att i första hand använda laterala kopplingar framför fiktiva kopplingspunkter längsmed vattendraget. När laterala kopplingar används är det viktigt att tänka på:

- Att det inte sker en dubbel beskrivning av kapaciteten i vattendraget. Beroende på programvaror kan det tillses genom att antingen i 2D-modellen de-aktivera beräkningselement i vattendraget eller att höja upp vattendraget i höjdmodellen.
- Att tvärsektioner i 1D-modellen harmoniserar med höjdmodellen, det vill säga att tvärsektioner inte är interpolerade över långa sträckor och därmed hamnar i konflikt med höjdmodellen.
- Avståndet mellan beräkningspunkter längsmed laterala kopplingar. För långa avstånd medför en risk för att geografiska felkopplingar uppstår mellan vattendjup och marknivåer i 2D-modell respektive i tvärsektioner i 1D-modell. Ju mer vattendraget meandrar och varierar i bredd, desto kortare kopplingar bör användas.

- Kopplingar i anslutning till strukturer i vattendraget. Om kopplingar löper över strukturer såsom broar och kulvertar finns risk för att vattennivån kopplas till fel sida av strukturen vilket kan medföra fel översvämningsdjup. Det rekommenderas att laterala kopplingar bryts mellan strukturer. Strukturens översida (ex bro) kan antingen beskrivas som ett överfall i 1D-modellen eller en aktiv yta i 2D-modellen. Om den senare metoden används bör de laterala kopplingarna definieras vinkelrätt mot flödesriktningen både uppströms och nedströms strukturen, så att vatten kan flöda över strukturen. Strukturens ovansida behöver då också vara väl beskriven i höjdmodellen.
- Vilken modell (1D eller 2D) som styr när utbyte sker mellan modellerna. Generellt rekommenderas att låta 2D-modellen styra nivån, förutsatt att det fungerar med avseende på eventuella dämningsnivåer.

Tips

För mer stöd och information om uppbyggnad av vattendragsmodeller hänvisas till MSB:s vägledning:

- Vägledning för översvämningskartering av vattendrag (MSB, 2014).

4.7 Ledningsnät

Sammanfattning för beställare av skyfallskartering

- Om dagvattenförande ledningsnät finns ska det beaktas vid skyfallskartering. Vid förenklade analyser och detaljerade analyser rekommenderas schablonavdrag enbart när större regn studeras (mer än 100 års återkomsttid). Om mindre regn studeras eller om ledningsnätet förväntas ha betydande påverkan på resultat (exempelvis i instängda områden) rekommenderas att göra en fördjupad analys där skyfallsmodellen kopplas till en ledningsnätsmodell.

Sammanfattning för utförare av skyfallskartering

- Fördelning av regn mellan markavrinningsmodellen och ledningsnätet styrs av val av modellverktyg. Den valda metoden ska motiveras och dokumenteras.

Om ett dagvattenledningsnät avvattnar det studerade området måste detta beaktas. Det finns huvudsakligen två olika tillvägagångssätt för att beakta ledningsnät i skyfallskarteringar: genom ett schablonavdrag på nederbördsbelastningen eller uppbyggnad av en kopplad modell. Dessa metoder beskrivs i följande avsnitt.

Vid förenklade och detaljerade analyser rekommenderas schablonavdrag på nederbördsbelastningen, när större regn studeras (regn med mer än 100 års återkomsttid). Om mindre regn studeras eller om ledningsnätet förväntas ha betydande påverkan på resultat (exempelvis i instängda områden) rekommenderas att göra en fördjupad analys där skyfallsmodellen kopplas till en ledningsnätsmodell.

I tabell 12 ges rekommenderad metod för beskrivning av ledningsnätets kapacitet med hänsyn till tillämpningsområde. Val av metod ska motiveras och dokumenteras.

Tabell 13. Rekommenderad metod för beskrivning av ledningsnätets kapacitet med hänsyn till tillämpningsområde.

Tillämpningsområde	Rekommenderad metod
Förenklad och detaljerad analys	Schablonavdrag för ledningsnät vid regnhändelser med återkomsttid över 100 år.
Fördjupad analys	Koppling till ledningsnätsmodell om ledningsnätet har betydande påverkan samt för regnhändelser med mindre återkomsttider än 100 år.

4.7.1 Schablonavdrag för ledningsnät

Schablonavdrag för ledningsnät är en förenklad metod för att beakta att en del av regnbelastningen avvattnas till dagvattensystem genom att reducera regnbelastningen. Ledningsnätet har stor påverkan på skyfallssituationen i tätorter och att använda schablonavdrag är vanskligt. Det rekommenderas därför endast vid förenklade och detaljerade analyser och för regn som har en längre återkomsttid än 100 år, men det kan också bero på hur stort avdrag som görs. Ju mindre regn som studeras desto större blir dock ledningsnätets funktion och därmed viktigare att det kan beskrivas med en tillförlitlig metod. I dessa fall rekommenderas att föra en fördjupad analys i en kopplad modell, se kapitel 4.7.2.

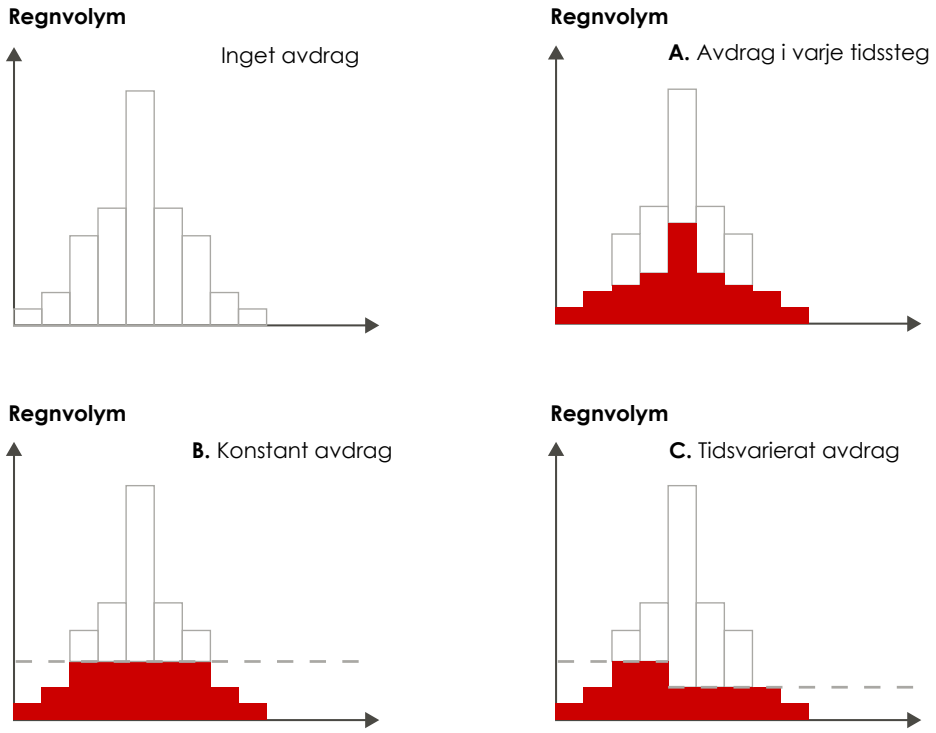
Att tänka på när schablonavdrag används är att den totala regnvolymen i modellen blir felaktig. När avdrag görs på regnbelastningen kan vattnet inte komma tillbaka till modellen. Om exempelvis ledningsnätet antas ha en kapacitet för ett regn med 10 års återkomsttid innebär det att vid kartering av en skyfallshändelse med 100 års återkomsttid så görs ett avdrag som motsvarar halva volymen av nederbördsbelastningen. Det medför att flödet till områden som ligger nedströms urbana områden underskattas där det finns ett dagvattenutlopp som ledningsnätet töms genom. Schablonavdrag är även olämpligt om det finns topografiska skillnader som innebär att vatten kan trycka upp och orsaka översvämningar, exempelvis i instängda områden, vilket förekommer i de flesta tätorter.

Hur schablonavdrag kan varieras i tid och rum beskrivs nedan.

Avdrag i tid
Det finns flera tillvägagångssätt att genomföra schablonavdrag på, varav några exempel illustreras i figur 11.

A. Avdrag i varje tidssteg. Metoden innebär att regnet reduceras med ledningsnätets uppskattade kapacitet uttryckt i återkomsttid eller genom ett procentuellt avdrag på regnbelastningen. Ledningsnätets kapacitet antas således variera med regnbelastningen. Återkomsttid eller avrinningskoefficient väljs med hänsyn till ledningsnätets bedömda kapacitet och studerad skyfallshändelse. Exempelvis är det lämpligt att anpassa ett procentuellt avdrag så att ju längre återkomsttid som studeras desto lägre procentuellt avdrag för ledningsnätets kapacitet.
B. Konstant avdrag. Metoden innebär att regnet reduceras med ett konstant avdrag. Avdraget kan exempelvis väljas utifrån ett blockregn med en viss återkomsttid och varaktighet som kopplas till ledningsnätets bedömda kapacitet. I Storbritannien har genomförts studier som visar att ledningsnätets kapacitet varierar mellan 5–54 mm/h, i medel 12 mm/h. Det senare används som standardavdrag för ledningsnät vid modellering i England och Wales (Environment Agency, 2019).
C. Tidsvarierat avdrag. Metoden kan beakta att ledningsnätets kapacitet kan antas minska över tid allt eftersom systemet blir fullt.

Figur 11. Exempel på olika metoder för att göra schablonavdrag för ledningsnätets kapacitet.



Källa: (SEPA, 2015)

Avdrag i rum
Där det finns kunskap om lokala kapacitetsskillnader kan schablonavdraget varieras mellan områden. Generellt rekommenderas att avdrag för ledningsnät enbart görs för hårdgjorda ytor inom tekniska avrinningsområden.

Ett alternativ till schablonavdrag för ledningsnät vid detaljerade analyser, är att göra en förenklad representation av ledningsnätet genom att placera ”utlopp” i lågpunkter som avvattnas av ledningsnätet. I dessa fall kan exempelvis punkter med intagspunkter såsom inlopp, rännstensbrunnar och kupolbrunnar användas som underlag för var ”utloppen” placeras i modellen. I respektive punkt töms modellen med antagen kapacitet för intaget, vanligen mellan ca 10 och 50 l/s (se även tabell 13). Denna metod anses ge ett bättre antagande om ledningsnätets kapacitet än ett schablonavdrag på nederbördsbelastningen. Jämfört med att bygga en ledningsnätsmodell är metoden särskilt fördelaktigt i fallen där det finns begränsad budget eller tillgång till underlag. På samma sätt som vid schablonavdrag ger metoden dock ett volymunderskott i modellområdet, eftersom det vatten som försvinner genom utloppen inte kan komma tillbaka till modellen. I Bilaga 1 har tillämpning av metoden genomförts för den detaljerade analysen i Karlstad. Tillämpningen visar ett exempel på när skillnaden i resultat mellan detaljerad och fördjupad analys i Karlstad är mindre jämfört med när schablonavdrag för ett 10-årsregn tillämpades i motsvarande analys i Uddevalla.

Oavsett vilken metod som väljs för att göra schablonavdrag är det viktigt att göra medvetna val utifrån lokala förutsättningar.

Historiska principer för dimensionering av avloppsledningar

Ledningssystemets ålder och tidigare principer för dimensionering av avloppsanläggningar kan ge en fingervisning om ledningsnätets kapacitet och vilket schablonavdrag som kan göras. För äldre anläggningar bör det dock beaktats att både ledningssystemets utformning och markanvändningen sannolik har förändrats över tid. Utbyggnader och förtätningar över årens lopp kan ha medfört att mer hårdgjorda ytor avvattnas till ledningsnätet än vad de ursprungligen dimensionerats för. Vidare kan ledningssystemets kapacitet påverkas av ledningens ålder och påverkan av sättningar, sprickor, rotinträngningar och så vidare.

- År 1974 gavs publikationen VAV P28 Anvisningar för beräkning av allmänna avloppsledningar ut av Svenska vatten- och avloppsverksföreningen. För ledningssystem som anlagts mellan åren 1974 och 2004 kan systemen ha dimensionerats för motsvarande 1-2-årsregn för fyllda dagvattenledningar och 5 år för fylld ledning för kombinerat dag- och spillvatten.
- År 2004 gavs P90 Dimensionering av allmänna avloppsledningar ut av Svenskt Vatten. För ledningssystem som anlagts mellan åren 2004 och 2016 kan systemet antas ha dimensionerats för att klara regn med 1 till 10 års återkomsttid för fylld ledning och minst 10 års återkomsttid för uppdämning till marknivå, beroende på om området är instängt eller ej samt om det klassas som citybebyggelse.
- P90 ersattes år 2016 av nuvarande gällande P110 Avledning av dag-, drän- och spillvatten. För ledningssystem som anlagts efter år 2016 kan systemet antas ha dimensionerats för att klara regn med 2 till 10 års återkomsttid för fylld ledning och 10 till 30 års återkomsttid för trycklinje i marknivå, beroende på bebyggelsetyp.

4.7.2 Ledningsnätsmodell

Där ledningsnätet förväntas ha ett avgörande effekt på översvämningens utbredning och varaktighet bör en fördjupad analys genomföras där skyfallsmodellen kopplas ihop med en modell som beskriver ledningsnätet. Exempel på när en fördjupad analys av ledningsnätet rekommenderas:

- I exploaterade områden med hög hårdgörandegrad.
- Vid simulering av regn med en återkomsttid mindre än 100 år, eller där ledningsnätets kapacitet förväntas utgöra en stor del av den totala regnbelastningen.
- I flacka eller instängda områden och lågpunkter, som endast kan avvattnas via ledningsnätet.

Det kan finnas tillfällen när ledningsnätet skulle behöva inkluderas men inte kan motiveras, exempelvis:

- I glesbebyggda områden.
- När underlaget för ledningsnätet är så bristfälligt att det inte är meningsfullt att etablera en hydraulisk modell. I områden med äldre ledningsnät med mycket begränsad kapacitet saknas ofta digitalt underlag.

I dessa situationer kan alternativet bli att göra en detaljerad analys, vilket då medför att skyfallskarteringen kommer ge mer osäkra resultat.

Läs mer

För mer stöd och information om uppbyggnad av ledningsnätsmodeller hänvisas till rapporter från Svenskt Vatten Utveckling:

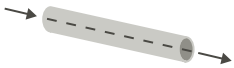
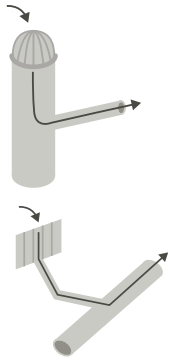
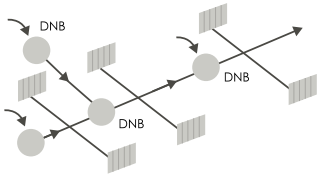
- Riktlinjer för modellering av spillvattenförande system och dagvattensystem.
- Dokumentation vid modellering av avloppsledningsnät.

I tabell 13 ges rekommendationer för beskrivningen av kopplingar mellan ledningsnäts- och markavrinningsmodeller för vanliga typer av kopplingar. Utöver dessa finns andra typer av strukturer såsom pumpar och magasin som ej har beskrivits. I vissa programvaror kan även finnas ytterligare parametrar för att beskriva kopplingar som ej har angetts här.

Transporten i kopplingar styrs av djup/flöde-samband, det vill säga ju högre vattendjup desto högre flöde. Ibland kan det finnas behov av att ange ett maximalt flöde som kan tillåtas i kopplingen, exempelvis om kapaciteten i den specifika kopplingen är känd. Jönköpings kommun har genomfört ett kapacitetsprov av olika typer av intagsanordningar (rännstensbrunnar). Vid försöken kunde konstateras att en traditionell rännstensbrunn har en kapacitet av ca 20 l/s då hela gallret är täckt av vatten. När dämning sker upp till kantstenen ökar kapaciteten till i storleksordningen 50 l/s (Sweco, 2017). Rännstensbrunnar som ligger i brant lutande gata kan förväntas fånga upp mindre vatten än en som är lokaliserad i en lågpunkt där vatten kan ansamlas.

Där ledningsnätsmodellen endast inkluderar nedstigningsbrunnar bör den geografiska placeringen av kopplingar ses över. Detta eftersom nedstigningsbrunnar ofta är placerade i mitten av gatan medan dagvattenbrunnar för att samla upp avrinningen är placerade i gatans lägsta punkt längs med kantstenen. Koppling av nedstigningsbrunnar riskerar därför att inte fånga upp allt vatten på gatan.

Tabell 14. Rekommendationer för kopplingar mellan ledningsnät och markyta.

Typ av koppling	Tvärsnittsarea	Maxflöde
In- och utlopp (horisontellt in-/utflöde). 	Beräknas av ledningens dimension.	Behöver generellt ej begränsas.
Dagvattenbrunnar med galler, till exempel rännstensbrunnar och kupolbrunnar (vertikalt in-/utflöde). 	Enligt dimension på brunn eller servis.	Generellt kan antas max kapacitet om ca 10–50 l/s per brunn, men detta kan variera med brunnens utformning och placering som påverkar hur mycket vatten som kan stå över brunnen.
Nedstigningsbrunnar och övriga punkter på ledningsnät som representerar flera dagvatten- och rännstensbrunnar (vertikalt in-/utflöde). 	Beräknas efter antal anslutna intagsbrunnar (till exempel rännstensbrunnar).	Anpassas efter antal anslutna intagsbrunnar (till exempel rännstensbrunnar). Om uppgift om antal anslutna rännstensbrunnar saknas kan antalet uppskattas till 1 rännstensbrunn per 50 till 100 meter ledning (observera att detta kan variera mellan kommuner, hur vägen är bomberad samt hur stor yta som avvattnas).
Fiktiva noder i diken och vattendrag*.	Anpassas efter dikets bredd.	Behöver generellt ej begränsas.

* Observera att för koppling mellan diken/vattendrag och markytor rekommenderas i första hand laterala kopplingar.

Tips för placering av kopplingspunkter

- Ett tips är att köra ytavrinningsmodellen utan ledningsnätet och sedan justera placeringen av kopplingspunkter utifrån översvämningens utbredning och övrigt tillgängligt underlag.

Vid fördjupade analyser med kopplade modeller rekommenderas att göra flera simuleringar med justerad intagskapacitet i kopplingspunkter. I figur 12 visas exempel på hur eftersatt drift i hög grad kan påverka hur mycket vatten som fångas upp i ledningssystem. Att variera intagskapaciteten kan visa effekterna av hur skötseln påverkar översvämningsrisken.

Figur 12. Till vänster: Vid en rännstensbrunn har höstlöv satt igen gallret och vatten kan ses fortsätta vidare nedåt i backen. Till höger: En linjeavvattning och infälld rännstensbrunn har satts igen av sand och löv. Foton Marie Larsson.

4.8 Nederbörd

För skyfallskarteringar finns i dagsläget ingen standard för vilka regnhändelser (återkomsttid, klimatfaktor) som ska användas. I kapitel 2 rekommenderas bland annat att skyfallshändelser väljs utifrån syftet med karteringen. Standarder saknas även för val av nederbördsstatistik, typregn och regnets varaktighet som beskrivs närmare i följande kapitel. Tills vidare rekommenderas att använda aktuell kunskap som finns tillgänglig och vara förberedd på att det kan komma nya rekommendationer i framtiden som kan leda till att genomförda skyfallskarteringar behöver uppdateras.

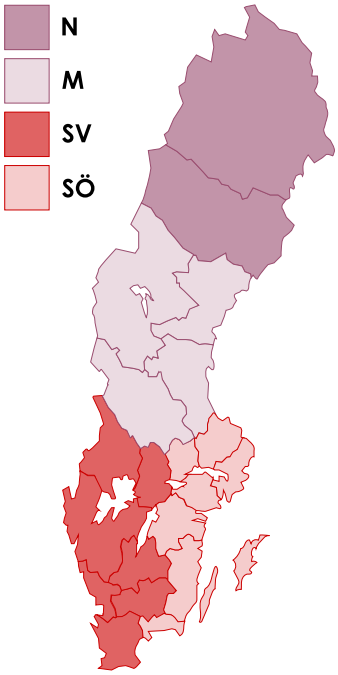
4.8.1 Nederbördsstatistik

Sammanfattning till utförare av skyfallskartering

- För skyfallskarteringar rekommenderas att använda aktuell nederbördsstatistik.
- Dagens tillgängliga skyfallsstatistik enligt SMHI (2017) är trovärdig för återkomsttider upp till 200 år. För längre återkomsttider övergår statistiken i en extrapolering som blir alltmer osäker ju längre återkomsttider som studeras.
- Nederbördsstatistik enligt Dahlström 2010 gäller för återkomsttider som understiger 10 år. Jämförelser mellan Dahlström 2010 och SMHI 2017 visar att Dahlström ligger utanför konfidensintervallet i SMHI 2017-statistiken, för alla delar av landet utom i sydväst. Dahlströms nederbördsstatistik från 2010 kan användas för skyfallskarteringar men ska för de delar av landet som inte ligger i sydväst anses ge en konservativ bedömning.
- Tillgänglig nederbördsstatistik (både Dahlström 2010 och SMHI 2017) baseras historiskt på punktobservationer.
- Vid skyfallskartering av stora geografiska områden bör beaktas att sannolikheten för att ett skyfall med samma intensitet inträffar i hela området är liten.

Idag används vanligen Dahlströms nederbördsstatistik från 2010 för skyfallskarteringar (Dahlström, 2010). SMHI har sammanställt nyare skyfallsstatistik som presenteras i rapporten Extremregn i nuvarande och framtida klimat (SMHI, 2017). Skyfallsstatistiken är framtagen från observationer och har delats in för fyra svenska regioner enligt figur 13. Statistiken kan användas för återkomsttider upp till minst 200 år, därefter övergår statistiken i en extrapolering som blir alltmer osäker ju större återkomsttider som studeras.

Figur 13. SMHI:s skyfallsstatistik för Sverige är indelad i fyra regioner (SMHI, 2017).



Jämförelser mellan skyfallsstatistiken från ovanstående rapport och Dahlström 2010 visar att statistikerna är jämförbara för sydvästra delen av landet. För övriga regioner är statistik enligt Dahlström 2010 i överkant jämfört med den nyare statistiken. Att använda Dahlström 2010 anses därför vara mer osäkert då statistiken är äldre, vidare riskeras att skyfallskarteringen ger en mer osannolik händelse än vad som avses att studeras.

Det bör beaktas att det finns en osäkerhet med att tillämpa all tillgänglig nederbördsstatistik för skyfallskarteringar. Anledningen är att data från de observationer som använts för att härleda nederbördsstatistiken baseras på punktmätningar. Nederbördsmätningar har historiskt inte innehållit högupplöst statistik varken i tid eller rum. Det innebär svårigheter med att kunna registrera skyfall som karaktäriseras av att vara korta, intensiva och har en begränsad geografisk utbredning. Vid skyfallskartering av stora geografiska områden bör således beaktas att sannolikheten för att ett skyfall med samma intensitet inträffar i hela området samtidigt är liten. När nederbördsstatistiken appliceras på stora geografiska områden innebär det att en mer osannolik händelse studeras än vad statistiken beskriver.

Kända historiska skyfallshändelser

I tabell 15 visas en sammanställning av kända historiska skyfallshändelser i Norden.

Tabell 15. Historiska skyfallshändelser.

Händelse	Volym	Varaktighet	Ungefärlig åter-komsttid (år) enligt Dahlström 2010
Gävleregnet, augusti 2021	161 mm	24 timmar	300 år
	100 mm	2 timmar	300 år
Malmö, augusti 2014	120 mm	24 timmar	360 år
Köpenhamnsregnet, juli 2011	150 mm	2 timmar	1 000 år
Största uppmätta regnet i Sverige, Fulufjället, augusti 1997	276 mm	24 timmar*	1 000 år

* Uppgifter saknas kring hur snabbt nederbörden föll under dygnet, varför detta rekord har mindre relevans för urbana miljöer där regn med kortare varaktighet är mer kritiska.

I samband med dimensionering eller kapacitetskontroll av avloppssystem används i Sverige vanligen följande källor till nederbördsstatistik. Denna statistik kan i skyfallskarteringssammanhang till exempel användas för att göra avdrag för ledningsnätets kapacitet eller vid kartering av lägre återkomsttider.

- Dahlström, 2010. Denna statistik hänvisas till i Svenskt Vattens publikation P104 och används vanligen för dimensionering av avloppsanläggningar. Statistiken baseras på SMHI:s observationer. Statistiken gäller för återkomsttider 0,5 till 10 år och varaktigheter upp till ett dygn.
- Dahlström, 2018. Jämfört med föregående Dahlström 2010 görs en regional anpassning. I statistiken inkluderas även kommuners nederbördsobservationer. Denna statistik är enligt (SMHI; Svenskt Vatten, 2020) under utvärdering. SMHI och Svenskt Vatten rekommenderar tills vidare att Dahlström 2010 används i samband med dimensionering av dagvattenanläggningar.

Mer information om nederbördsstatistik

- Extremregn i nuvarande och framtida klimat – Analyser av observationer och framtidsscenarier. Klimatologi nr 47. (SMHI, 2017).
- Regnintensitet – En molnfysikalisk betraktelse (Dahlström, 2010).
- Nederbördsstatistik för dimensionering av dagvattensystem (SMHI; Svenskt Vatten, 2020).
- P104 Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem (Svenskt Vatten, 2011).
- P110 Avledning av dag-, drän- och spillvatten – funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem (Svenskt Vatten, 2016).

4.8.2 Typregn

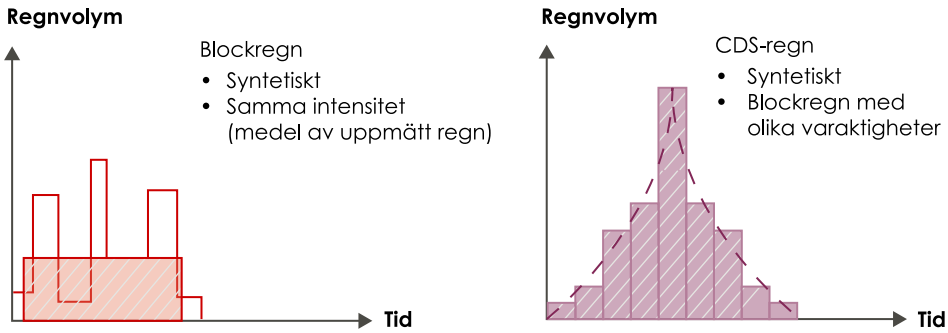
Sammanfattning till utförare av skyfallskartering

- Typregn används för detaljerade och fördjupade analyser i dynamiska verktyg.
- För skyfallskarteringar rekommenderas att använda ett typregn där intensiteten varierar i tid. De kan baseras på uppmätta regn eller syntetiska regn, till exempel CDS-regn.

Typregn beskriver hur regnvolymen varierar i tid. När inte uppmätta nederbördsserier finns tillgängliga används typregn för att definiera regnet som belastar dynamiska skyfallsmodeller. Typregn beskriver hur regnvolymen fördelas över tid under regnhändelsen.

I Sverige används vanligen blockregn eller CDS-regn för dimensionering av avloppsanläggningar, se figur 14. Ett blockregn definieras av en volym och varaktighet som hämtas från nederbördsstatistik för önskad återkomsttid. Ett CDS-regn representerar ”alla” blockregnsvaraktigheter upp till det aktuella CDS-regnets varaktighet. CDS står för Chicago Design Storm. Intensiteteten för det centrala blocket i ett CDS-regn är samma som intensiteten för ett blockregn med samma varaktighet. Regnintensiteten för blocken utanför det centrala blocket är beräknade så att regnet blir volymriktigt för motsvarande varaktighet.

Figur 14. Blockregn och CDS-regn är två vanliga typregn som används vid skyfallskarteringar.



För skyfallskarteringar vid förenklad analys med statiska verktyg används inte typregn eftersom tidsaspekten inte beaktas. I stället appliceras en volym över hela avrinningsområdet.

Vid detaljerade och fördjupade analyser rekommenderas att använda regnintensitet som varierar i tid. De kan baseras på uppmätta regn eller syntetiska regn till exempel CDS-regn. Fördelen med CDS-regn är att flera regnvaraktigheter kan studeras i en och samma simulering. CDS-regn innehåller alla varaktigheter upp till och med den största, vilket vid kartering av en tätort innebär att det dimensionerande flödet fångas upp även i områden med kortare koncentrationstider. Nackdelen är att sådana regn kan ge en överdriven händelse. Mer information om nederbördsstatistik och typregn återfinns bland annat i Svenskt Vattens publikation P104.

4.8.3 Varaktighet

Sammanfattning till utförare av skyfallskartering

- Val av varaktighet ska ske med beaktande av avrinningsområdets storlek och karaktär, så att regnets varaktighet och områdets koncentrationstid sammanfaller och kan ge det högsta flödet.
- Det rekommenderas att studera varaktigheter mellan 5 minuter upp till 1 dygn. För detaljerade och fördjupade analyser av större avrinningsområden med längre koncentrationstider än 1 dygn rekommenderas att modellen avgränsas och randvillkor för inflöde tillämpas.

Ett skyfall definieras av volym och varaktighet. I följande avsnitt beskrivs varaktighet och hur det begränsas uppåt och nedåt.

När regnets varaktighet sammanfaller med avrinningsområdets koncentrationstid erhålls det största flödet. Koncentrationstiden för ett avrinningsområde är tiden det tar för vatten att rinna från avrinningsområdets högsta till lägsta punkt och inkluderar tiden det tar att fylla upp magasin längs vägen. Topografin har stor påverkan på koncentrationstiden. I sluttande områden är det ofta korta varaktigheter som genererar de största djupen, medan koncentrationstiden för flacka områden kan påverkas av att det tar längre tid för vatten att rinna undan. I låglänta områden nära vattendrag är det typiskt långa varaktigheter som är kritiska till följd av att avrinningsområdena är större. Även markanvändningen i avrinningsområdet påverkar hur snabbt vatten rinner, eftersom olika markytor ger olika friktionsmotstånd (se kapitel 4.4). I urbana områden med hårdgjorda och kompakterade ytor är det korta och intensiva regn som förväntas ge dimensionerande flöden framför långa och lågintensiva regn som i högre utsträckning kan avledas via ledningssystem.

Det rekommenderas att skyfall studeras för varaktigheter mellan 5 minuter upp till 24 timmar. Skyfall med längre varaktigheter än 1 dygn anses inte motiverat att studeras. Detta med hänsyn till tillgänglig statistik. SMHI:s analyser av extrem nederbörd baseras på studier av nederbördsrikaste 24 timmarna (SMHI, 2023). Även Dahlströms formel från 2010 gäller för varaktigheter från 5 minuter upp till 24 timmar till följd av hur data från nederbördsobservationer har tolkats.

Förenklad analys
Vid förenklade analyser beaktas ej tidsaspekten, därmed är varaktigheten ej en relevant parameter för förenklade analyser. Belastningen sker i stället enbart med avseende på volym.

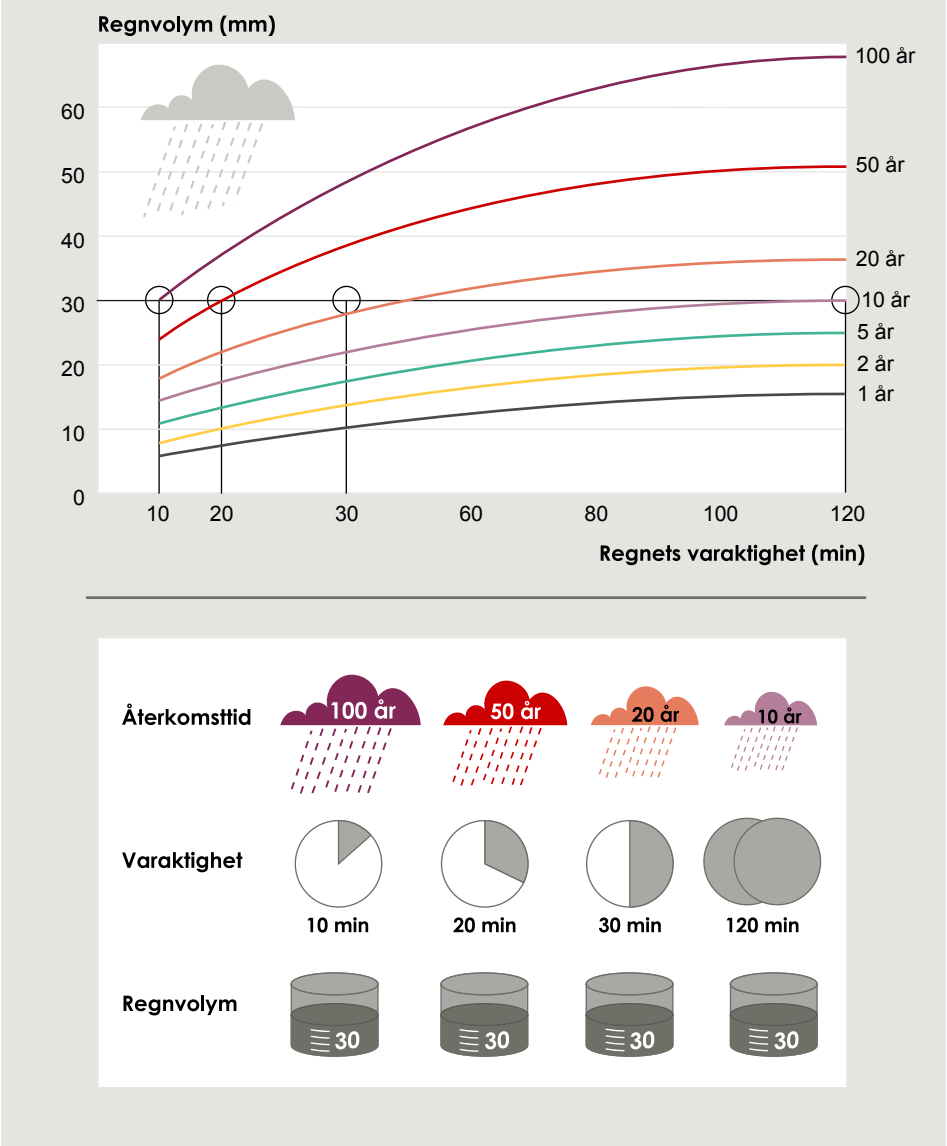
För att välja volym från nederbördsstatistik kan exempelvis avrinningsområdets koncentrationstid användas som input till varaktighet, men eftersom en händelses statistiska återkomsttid definieras av både volym och varaktighet innebär det att den valda volymen ej kan anses representera en specifik återkomsttid. Exempelvis kan 30 mm regn vara både ett 100-årsregn med 10 minuters varaktighet eller ett 10-årsregn med 120 minuters varaktighet vilket illustreras i figur 15.

Detaljerad och fördjupad analys

Vid detaljerade och fördjupade analyser rekommenderas att använda ett typregn (se kapitel 4.8.2) med minsta varaktighet 5 minuter och längsta varaktighet 1 dygn. Val av längsta varaktighet ska ske med beaktande av avrinningsområdets storlek och karaktär, så att regnets varaktighet och områdets koncentrationstid sammanfaller och kan ge det högsta flödet.

För stora avrinningsområden med koncentrationstider som överstiger 1 dygn rekommenderas att avgränsa modellen (se kapitel 2.6). I dessa fall kan ett randvillkor appliceras för inflöden i rinnvägar från uppströms avrinningsområden, se kapitel 4.9.1.

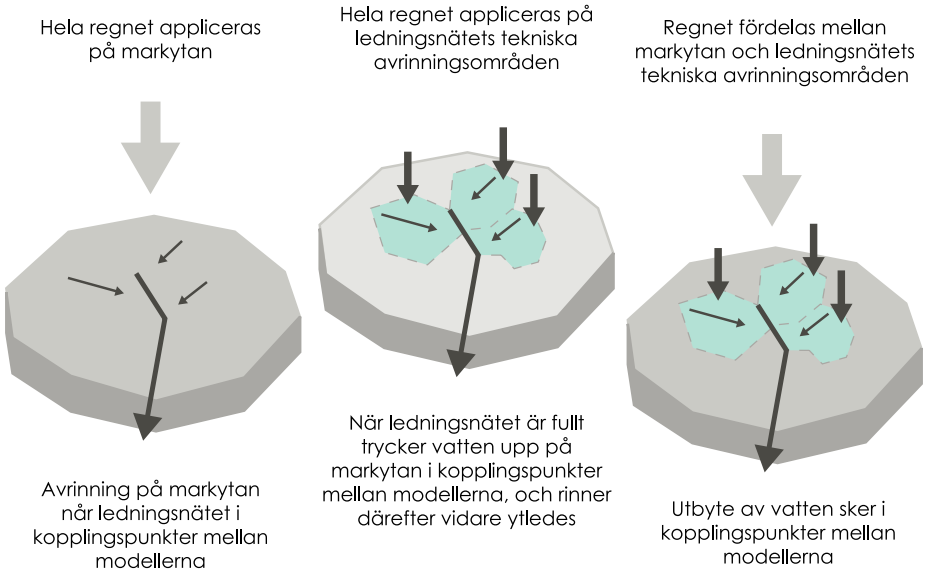
Figur 15. Diagrammet illustrerar samband mellan ett regns volym, varaktighet och återkomsttid. En viss regnvolym har inte en entydig återkomsttid (sannolikhet) utan den varierar med regnets varaktighet. Faller till exempel 30 mm på tio minuter är det ungefär ett 100-årsregn men om samma regnvolym i stället faller under två timmar är det ungefär ett 10-årsregn. Regnvolymen för en given varaktighet är omkring dubbelt så stor vid ett 100-årsregn jämfört med ett 10-årsregn. Samma relation gäller ungefär mellan ett 50-årsregn och ett 5-årsregn, respektive ett 20-årsregn jämfört med ett 2-års regn.



4.8.4 Fördelning av regn mellan 1D- och 2D-modeller

Vid fördjupad analys med kopplade modeller kan hela regnbelastningen appliceras antingen direkt på ledningsnätet, på markytan eller fördelas mellan de två modellerna. En schematisk bild visas i figur 16.

Figur 16. Schematisk bild som visar principer för fördelning av regn mellan modeller. Var och hur regnbelastningen lämpligen appliceras är beroende av modellverktyg samt hur detaljerat ledningsnätet samt kopplingar mellan ledningsnät och markyta är representerat.



4.8.4.1 Hela regnet belastar markavrinningsmodellen

När det finns en detaljerad beskrivning av ledningsnätet inklusive en god representation av kopplingspunkter, exempelvis genom att inkludera dagvattenbrunnar, rekommenderas att belasta hela regnet i markavrinningsmodellen. I vissa modellverktyg och där underlaget tillåter är det lätt att representera samtliga rännstensbrunnar. I det fallet kan hela regnet belasta markytan. Denna metod anses ge en betydligt mer realistisk beskrivning av ytavrinning, om placering av rännstensbrunnarna är tillförlitlig. Regnvolymen som faller direkt på takytor och belastar ledningsnätet via hängrännor och stuprör kan dock fortfarande behöva representeras.

4.8.4.2 Regnet fördelas mellan ledningsnätet och markytan

Om ledningsnätet beskrivs mindre detaljerat, exempelvis när endast huvudledningsnätet har inkluderats och kopplingspunkter enbart finns vid nedstigningsbrunnar, rekommenderas att regnet fördelas mellan modellerna. Fördelningen sker så att en del av regnet som antas kunna ta sig till ledningsnätet belastar ledningsmodellen direkt, och resterande del appliceras i markavrinningsmodellen. Ett annat alternativ för fördelning av regn är att fördela regnbelastning på hårdgjorda ytor mellan modellerna, medan all belastning på genomsläppliga ytor förläggs till markavrinningsmodellen.

Att fördela regnbelastning mellan ledningsnät och markyta är lämpligt när kopplingspunkterna mellan markyta och ledningsnätet sker i nedstigningsbrunnar. Detta eftersom kopplingspunkterna är färre än de verkliga intagen, ofta lokaliserade på vägarnas höjdpunkter, och riskerar därmed att inte fånga upp den mängd vatten som kan förväntas nå ledningssystemet. Det kan leda till att mer vatten blir kvar på markytan samtidigt som ledningsnätets kapacitet inte nyttjas till fullo.

Val av belastning på ledningsnätet (för att representera hängrännor, stuprör och rännstensbrunnar) beror på lokala förhållanden. Som utgångspunkt kan ett regn med återkomsttid mellan 5 och 10 år användas men detta bör anpassas efter lokalkännedom. Äldre system är ofta dimensionerade för regn med 1 till 2 års återkomsttid.

4.9 Randvillkor

4.9.1 Inflöden från uppströms delar i avrinningsområde

Det kan finnas tillfällen när det inte är möjligt eller motiverat att modellera hela avrinningsområdet i en högupplöst markavrinningsmodell, till exempel när avrinningsområdet är mycket stort. En förenklad beskrivning av tillrinningen från uppströms liggande delar i avrinningsområdet kan utföras på olika sätt, varav några exempel ges nedan. Gemensamt för alla former av förenklingar är att det finns en stor risk att felskatta tillrinningen till modellområdet, vanligen till följd av att rinnvägar och naturliga fördröjningsvolymer i avrinningsområdet missas.

Exempel på metoder för förenklad beskrivning av uppströms avrinningsområde, som är listade efter i vilken ordning de rekommenderas:

- Avrinningsområdet delas upp i flera delmodeller, där uppströms liggande delmodell ger flöden som input till nedströms liggande delmodell.
- Avrinningsområdet utanför tätort och intresseområde inkluderas med ett grövre beräkningsnät.
- Avrinningsområdet utanför tätort och intresseområde modelleras i en separat modell med grövre beräkningsnät, som ger flöden som input till en mindre och mer detaljerad modell över tätorten.
- Avrinning från uppströms liggande avrinningsområde beräknas med tid-area-metoden och appliceras som randvillkor (inflöden) in i modellområdet.

Tips

- Nationella Marktäckedata (NMD) | Naturvårdsverket (Naturvårdsverket, 2022) kan användas som underlag för att beräkna inflöden från uppströms liggande avrinningsområden. Datan har upplösningen 10x10 m och är avgiftsfri.

4.9.2 Obegränsat utflöde ut ur modellen

Om vatten ska kunna flöda ut ur modellen rekommenderas att följande beaktas vid placeringen av randvillkoret:

- Randvillkor placeras på ett sådant avstånd att det inte påverkar intresseområdet.
- Randvillkor placeras endast där flödet förväntas lämna modellområdet.
- Randvillkoret placeras vinkelrätt i förhållande till flödesriktningen.
- Där randvillkoret har placerats är marknivåerna jämna.

4.9.3 Utflöde till sjöar och hav

Randvillkor för närliggande vattennivåer i sjöar och hav kan vara aktuellt att ange i samband med skyfallskartering för att göra den så rättvisande som möjligt då sjöar och hav motsvarar skyfallskarteringens slutpunkt (nedströms randvillkor). Vanligtvis anges i skyfallskarteringen en slutpunkt där vattennivån är känd genom mätningar. Om inmätta nivåer saknas görs rimliga antaganden om vattennivåer. Vilka flöden och vattennivåer som ska utgöra randvillkor i skyfallskarteringen och hur dessa ska kombineras behöver beslutas innan underlaget inhämtas, och är avhängigt syftet med karteringen.

Underlag för hydrologiska och oceanografiska data och information om klimatanpassade nivåer kan till stor del erhållas från SMHI.

Om skyfallsmodellens sista punkt är en recipient där ett konstant randvillkor ska tillämpas bör övervägas om vattennivån kan anges i höjdmodellen, för att på så sätt minska risken för instabiliteter i modellranden. Det behöver då också säkerställas att ingen dämning sker uppåt som påverkar resultatet.

4.10 Simulering

Vid simulering ska tid adderas efter regnseriens slut för att skyfall ska hinna rinna av i hela modellen. Detta för att säkerställa att maximalt vattendjup hinner uppnås i hela modellområdet under simuleringen och för att få resultat som visar tid tills konsekvens försvunnit.

5. Känslighetsanalyser

Sammanfattning för beställare av skyfallskartering

- När det saknas data som skyfallskarteringen kan verifieras mot rekommenderas känslighetsanalyser för bedömning av osäkerheter i metod och resultat.
- Känslighetsanalysen visar hur resultat varierar med variationer i indata och parametrar. Utifrån dessa kan modellens robusthet bedömas.
- När känslighetsanalyser inte genomförs är det desto viktigare att underlag har hög tillförlitlighet.

Sammanfattning till utförare av skyfallskartering

- Känslighetsanalyser är ett verktyg för att bedöma skyfallskarteringens kvalitet när det saknas data för att verifiera resultaten mot inträffade händelser.
- Resultat från känslighetsanalyser dokumenteras när det ligger till grund för beslut under modelluppbyggnad.
- Känslighetsanalyser rekommenderas när:
  - Kalibreringsunderlag saknas.
  - Resultaten ska användas som beslutsunderlag.
  - Projektet är av särskild betydelse.

5.1 Hantering av osäkerheter

I forskningsrapporten *Robusta beslutsstödsmetoder för klimatanpassning* skriver författarna om principen att ”omfamna osäkerheter” (MSB, 2021). Det innebär att ta hänsyn till alla möjliga utfall. För skyfallskartering innebär detta typiskt ett fokus på flera olika scenarier, snarare än ett enda mest ”troligt” utfall.

Modeller är en ansats för att komma så nära verkligheten som möjligt, men osäkerheter i underlag, tolkning av förutsättningar, det allmänna tillvägagångssättet vid modellering inklusive inbyggda osäkerheter i verktyg påverkar resultaten. När det inte finns data som modellen och resultaten kan verifieras mot kan känslighetsanalyser användas för att utvärdera osäkerheter i metod och resultat. Känslighetsanalyser kan även användas under modelluppbyggnadsfasen som grund för beslut.

Känslighetsanalyser är ett verktyg för att:

- Förstå vilka förutsättningar som är av störst betydelse för resultaten, och var fokus ska läggas avseende underlag och modelluppbyggnad.
- Kvalitetsbedöma resultat och erhålla sannolika spann.
- Bedöma känslighet för förändringar i förutsättningar, exempelvis hur minskad kapacitet i ledningsnät till följd av igensättning i brunnar och sedimentation i ledningar påverkar översvämningens utbredning och varaktighet. Vad händer om systemet är eftersatt och intagen är igensatta? Vad händer om ledningen infodras?

Känslighetsanalyser ska prioriteras när något av följande gäller:

- Kalibreringsunderlag saknas.
- Resultaten ska användas som beslutsunderlag.
- Projektet är av särskild betydelse.

Om projektet inte anses vara av särskild betydelse och en viss nivå av osäkerheter anses acceptabla, rekommenderas i stället ett pragmatiskt förhållningssätt som tar hänsyn till aspekter som är osäkra eller antagna. Vid beaktande av osäkerheter används bästa praxis (de mest uppdaterade uppgifterna, rekommendationer från mjukvaruleverantörer om modellparametrar och inställningar).

5.2 Exempel på känslighetsanalyser

- I tabell 15 ges exempel på känslighetsanalyser. De har klassats efter prioritering 1 till 3 där 1 är mest prioriterat och har störst påverkan på resultaten. Prioritering 1 rekommenderas alltid.
- Vid känslighetsanalys rekommenderas att först upprätta en modell som är en bästa ansats och därefter använda resultaten från denna som referens för känslighetsanalyserna. Ett resultat av känslighetsanalyser kan vara att med genomförda analyser konstateras att resultaten inte avviker i någon högre grad från referensmodellen, och att den därmed är robust för analyserade parametrar. Alternativt resulterar känslighetsanalysen i att en eller flera parametrar har oönskat stor påverkan på resultaten så att mer tillförlitligt underlag behöver samlas in, exempelvis genom inmätningar av strukturer, eller att mer säkerhetsmarginaler behöver tillämpas för att ta höjd för osäkerheter.

Känslighetsanalyser innebär att flera simuleringar genomförs. Resultaten bör dokumenteras om de ligger till grund för beslut eller vägval i modelleringen.

Tabell 16. Exempel på känslighetsanalyser.

Parameter	Beskrivning	Kommentar	Prio 1–3 (1 högst)
Regn	Variera nederbörds-belastning. Varaktighet, volym, klimatfaktor, typregn osv.	Rekommenderas alltid, men är särskilt relevant vid riskanalyser och framtagning av skade-kurvor.	1
Schablonavdrag för ledningsnät	Testa med/utan schablonavdrag.	Bedöma hur stor påverkan antaganden om ledningsnätet har. Vad händer i områden nedströms tätorter där avdrag tillämpats?	2
Schablonavdrag för infiltration	Testa med/utan schablonavdrag.	Bedöma hur stor på-verkan antaganden om infiltration har.	2
Infiltrationsmodul	Testa extremvärden.	Modellens känslighet för infiltration – ger input till hur infiltrationskapacitet eller årstidsvariationer kan påverka resultaten.	2
Råhet	Justera Mannings tal +/- 20 %.	Kommer påverka främst ytor som har litet friktionsmotstånd. Det är även dessa ytor, såsom tak och vägar, som har störst påverkan vid skyfall.	2
Upplösning	Variera upplösningen i beräkningsnät och höjddata.	Aktuellt vid avvägning mellan detaljeringsgrad och simuleringstid/ filstorlek.	3

6. Kvalitetsgranskning

Skyfallskarteringar kan sällan kalibreras eller valideras. Det beror på att skyfall med dagens tillgängliga teknik är svåra att prognostisera, och när de väl inträffar finns det sällan tillräckligt mycket mätutrustning på plats för att kartlägga händelsen och dess effekter. Om dokumentation av historiska händelser finns tillgängliga är de mycket värdefulla för att kontrollera och verifiera en skyfallskartering. Exempel på information som kan användas för kalibrering/validering är mätdata (nederbörd, nivåer och flöden), fotografier och registrerade översvämningar.

Kvalitetsgranskning av en skyfallskartering ska alltid utföras och dokumenteras. För förenklade analyser syftar kvalitetsgranskningen främst till att kontrollera kvalitet och aktualitet på underlag samt att resultaten kan användas för att svara på de frågor som initierat behovet av en skyfallskartering. För fördjupade och detaljerade analyser syftar kvalitetsgranskningen även till att säkerställa att modellen är hydraulisk korrekt och ger rimliga resultat. Kvalitetsgranskningen kommer däremot inte kunna besvara frågan om skyfallsmodellen efterliknar verkligheten. För det krävs kalibrering/validering mot minst en dokumenterad händelse.

I tabell 16 ges exempel på hur kvaliteten på en skyfallskartering kan bedömas utifrån underlag och metod. Principen för klassificering av kvalitet kan användas oavsett tillämpningsnivå.

Tabell 17. Exempel på klassificering av kvalitet i underlag och modelluppbyggnad.

Kvalitetsklass	Beskrivning	Förklaring	Exempel
1	Bästa möjliga	Finns ingen bättre data eller teknik tillgänglig, inte möjlig att förbättra i närtid.	Hög upplösning i höjddata Uppdaterad ledningsnäts-modell.
2	Kända brister	Bör uppdateras så snart nya data finns tillgängliga.	Ledningsnätsmodell med några år på nacken.
3	Uppskattningar	Baserat på erfarenhet och bedömningar.	Framtida förändringar, till exempel nederbörd, mark-användning, förtätning.
4	Grova antagningar	En kvalificerad gissning.	Infiltration. Råhet.

I tabell 17 ges rekommenderade kontrollpunkter för kvalitetsgranskning av detaljerade och fördjupade analyser utförda med dynamiska modellverktyg.

Tabell 18. Rekommenderade kontrollpunkter vid kvalitetsgranskning.

När	Vad	Hur
Insamling av underlag	Aktualitet	När är underlaget framtaget? Finns mer uppdaterat underlag? Finns behov av att ta fram mer uppdaterat underlag?
	Kvalitet	Vilken noggrannhet eller upplösning består underlaget av?
Modelluppbyggnad	Beräkningsnät	Beräkningsnätets detaljeringsgrad kontrolleras mot höjdmodell. Flödesvägar samt viktiga strukturer i höjdmodellen ska fångas upp i beräkningsnätet eller beskrivas på annat sätt. Gör en uppskattning kring om tillgänglig volym i lågpunkter i höjdmodell finns representerade i beräkningsnätet.
	Regnbelastning	Val av skyfallshändelse (återkomsttid och klimatfaktor) är kopplat till karteringens syfte. Regnets varaktighet är kopplat till avrinningsområdets storlek. Eventuella avdrag på regnbelastningen för att beskriva förluster till följd av infiltration och dagvattenförandeledningsnät är motiverade. Fördelningen av regn i kopplade modeller är rimlig.
	Infiltration	Valda värden för olika jordarter och markanvändningar kontrolleras. Detaljeringsgrad kontrolleras mot beräkningsnät och ortofoto. Beroende på metod för att beskriva infiltration beaktas att valda infiltrationsparametrar ej överskrider regnintensiteten.
	Råhet (Mannings tal)	Valda värden för olika markanvändningar kontrolleras. Detaljeringsgraden kontrolleras mot beräkningsnät och ortofoto. Kontrollpunkter vid framtagning markytans råhet: • Om underlag för hårdgjorda ytor används, följ upp om det finns ytor av grus som behöver beskrivas med ett mindre motstånd. • Vid korsning mellan vägar och järnvägar samt vid tid trafikplatser med infrastruktur i flera plan.
	Kopplingar	Kopplingar till ledningsnät kontrolleras med avseende på kopplingspunkternas geografiska placering gentemot avrinningsväg och lågpunkter i 2D-modellen. Hur transporten beräknas i kopplingen är anpassad till vad det är för typ av koppling, till exempel om utbytet av vatten sker vertikalt i brunnar på gator eller horisontellt i in- och utlopp. Laterala kopplingar kontrolleras med avseende på avstånd mellan beräkningspunkter, samspel mellan tvärsektion i vattendrag och höjdmodellen, anslutning till strukturer i vattendraget och vilken nivå som styr transporten i kopplingen.

När	Vad	Hur
Resultat	Massbalans	Modellens massbalans kontrolleras, dvs om modellen skapar eller förlorar vatten. Massbalansen bör ligga på +/- 1 %.
	Maximala vattendjup	Kontrollera att regnet har hunnit rinna av i hela modellen genom att kontrollera att maximalt vattendjup inträffat innan simuleringens sista tidssteg.
	Rinnvägar och lågpunkter	Kontrollera resultat så att översvämningsutbredning och flödesvägar har fångat upp topografiska avrinningsväg och lågpunkter i terrängen.
	Numeriska instabiliteter	Instabiliteter i modellberäkningen kontrolleras. Instabiliteter kan exempelvis uppstå om för långa tidssteg använts i simuleringen, vid branta partier i modellområdet, vid kraftiga förändringar i råhet, områden som pendlar mellan att vara blöta och torra, eller beräkningsnät som inte återger höjdmodellen på ett bra sätt. Instabiliteter kan till exempel identifieras av att studera massbalansen i simuleringen, om det uppstått höga eller oscillerande hastigheter eller djup, vilket lägsta tidssteg som krävts i simuleringen (gäller vid simuleringar med varierande tidssteg). Instabilitet i kopplingar kontrolleras.
	Uppdämningar	Felaktiga uppdämningar kontrollerar längs modelldomänen, s.k. ”glasväggar” och vid strukturer som skapat felaktiga blockeringar i höjdmodellen. Vid behov justeras beräknings-nätets och höjdmodellens upplösning och geografiska utbredning.
	”Läckande” vallar	Det kontrolleras att vägbankar och vallar har fångats upp i beräkningsnätet och höjdmodellen, så att dessa inte släpper igenom vatten.

7. Leverans av skyfallskartering

Sammanfattning för beställare av skyfallskartering

- Skyfallskarteringen ska åtföljas av en leveransbeskrivning med information om vilket underlag och vilka antaganden som resultaten baseras på och vad de kan användas till.

En skyfallskartering ska åtföljas av en leveransbeskrivning med information om vilket underlag och vilka antaganden som resultaten baseras på samt vad resultaten kan användas till. En beskrivning av leveransen kan ske antingen i huvudrapport eller en separat metodbeskrivning.

Följande information bör alltid ingå i leveransbeskrivningen och beskrivs mer utförligt i följande kapitel:

- Metodbeskrivning (metodval, osäkerheter och antaganden).
- Innehåll i filleverans (resultattyper, filtyper, rumslig upplösning, tidsupplösning).

7.1 Metodbeskrivning

En leverans av en skyfallskartering ska alltid åtföljas av en metodbeskrivning. Syftet är att dokumentera metod (för förenklad analys) eller modelluppbyggnad (för detaljerad och fördjupad analys), underlag, antaganden och osäkerheter. Metodbeskrivningen är mycket viktig för framtida förvaltning och ajourhållning av modeller.

Metodbeskrivningen för en detaljerad eller fördjupad analys är i första hand riktad till en beställare som är tekniskt insatt samt eventuella framtida brukare av skyfallsmodellen. Eftersom dokumentet är av teknisk karaktär och kan innehålla känslig information om ledningsnät är det inte nödvändigt att en metodbeskrivning biläggs en utredningsrapport, förutsatt att väsentlig information även anges i rapporten. Det rekommenderas dock att metodbeskrivningen alltid sparas tillsammans med tillhörande modellfiler.

Följande ska alltid framgå i en metodbeskrivning oavsett tillämpningsnivå:

- Programvara och version.
- Underlag till grund för skyfallskarteringen (filnamn, tillhandahållen av, datum).
- Bedömning av karteringens kvalitet, inkl. beskrivning av vad resultat kan eller inte kan användas till. Osäkerheter kring metodval och hur dessa påverkar resultat och slutsatser ska anges. I tabell 16 i kapitel 6 ges exempel på metod för kvalitetsbedömning av skyfallskartering.
- Koordinat- och höjdssystem för levererade filer.
- Princip för namngivning av filer och beskrivning av mappstruktur.
- Format, upplösning, klassning och symbolik för resultatfiler.
- Filförteckning.

Följande ska även ingå för detaljerade och fördjupade analyser:

- Modelldokumentation som ger en översiktlig beskrivning av modellen (se exempel i bilaga 4 som kan biläggas en metodbeskrivning).
- Versionshistorik för modell och resultat.

7.2 Filleverans

För att öka tillgängligheten till och underlätta spridning av skyfallskarteringens resultat bör modellresultat alltid konverteras till GIS-kompatibla filtyper såsom raster och vektor data. Lämpliga format som kan öppnas med de flesta programvaror är TIF- eller ASC-filer för raster respektive shape-filer eller geodatabas för vektordata. Detta bör ingå i en standardleverans.

7.2.1 Bearbetningar av resultat

Utöver konvertering av resultat till GIS-kompatibla filer kan det inför leverans finnas behov av att ytterligare bearbeta resultaten. Förslag på grundläggande bearbetningar:

- Vattendjup under 10 cm filtreras bort.
- Vattendjup på permanenta vattenytor filtreras bort.
- Vattenansamlingar utanför avrinningsområdet filtreras bort.
- Eventuella anpassningar för specifika ändamål, till exempel gällande klassificering av djup.
- Observera att felaktiga resultat ska i första hand åtgärdas i modellen och inte klippas bort ur resultaten. Exempelvis om det har fastnat vattenansamlingar på takytor bör takytorna justeras i höjdmodellen så att de kan rinna av – annars sker en oavsiktlig fördröjning på takytor som kan påverka skyfallskarteringen omkring byggnader.

7.2.2 Leverans av förenklad analys

Resultat levereras som raster- och vektordata för:

- Vattendjup (och utbredning).
- Rinnvägar.

7.2.3 Leverans av detaljerad och fördjupad analys

Modellresultat levereras i original samt GIS-filer som har anpassats för presentation.

Att tänka på vid konvertering och bearbetning av resultatfiler:

- Arbeta med originalfiler så långt som det är möjligt så att inte information förloras eller filtreras bort.
- Upplösning i plan – samma som modellens upplösning.
- Upplösning i tid – i dynamiska resultat ska tidsupplösningen vara anpassad till modellens upplösning och syfte. I urbana miljöer kan 5 minuter vara lämpligt. En fördel med lägre tidssteg är att kunna ta ut upplösta hydrografer samt att det är lättare att upptäcka eventuella instabiliteter.
- Om resultaten ska konverteras till vektordata krävs klassificering av resultat. Förslag ges i tabell 18.

Förslag på innehåll i standardleverans för detaljerad och fördjupad analys ges i tabell 18. Om annan klassificering väljs rekommenderas att beakta att klassificeringen av djup kopplas till relevanta kritiska nivåer, till exempel framkomlighet för fordon. För läsbarheten kan det även vara bra att hålla nere antal klasser.

Tabell 19. Förslag på innehåll i standardleverans. För bearbetade vektor-resultat ges förslag till klassning.

		Modellfiler (original)		Bearbetade resultat	
Typ av resultat	**Enhet**	**Statistiska resultat (maxvärden)**	**Dynamiska resultat**	**Raster**	**Vektor**
Vattendjup	m	Ja	Ja	Ja	1: 0–0,1 2: 0,1–0,2 3: 0,2–0,5 4: 0,5–1 5: >1
Hastighet	m/s	Ja	Ja	Ja	Nej
Flöde	m3/s	Ja	Ja	Ja	1: 0–0,002 2: 0,002–0,005 3: 0,005–0,01 4: 0,01–0,02 5: >0,02
Flödesriktning, vid max hastighet	grader	Ja	Nej	Antingen i raster eller vektorformat	
Översvämnings-varaktighet (endast vid fördjupade analyser)	sekunder	Ja	Nej	Ja	Nej

7.3 Uppdatering

Skyfallskarteringar är färskvara. De är ögonblicksbilder av hur förhållandena var vid tidpunkten då data till karteringen samlades in. De är också ett resultat av vilken prestandan var hos den version av programvaran som användes vid tillfället då karteringen gjordes.

Bland de fysiska förhållanden som påverkar karteringens aktualitet är:

- Generellt uppdaterad höjddata.
- Nybyggnation.
- Rivning av byggnader.
- Nya vägar eller annan infrastruktur med påverkan på höjdsättningen.
- Förändrad markanvändning, exempelvis andelen hårdgjorda ytor.
- Genomförda skyfallsåtgärder.

Till detta ska läggas förändringar av beräkningsmässiga förutsättningar såsom:

- Uppdatering av regnstatistik.
- Utveckling av klimatmodeller.
- Förbättrad mjukvara.
- Önskemål om ökad detaljeringsgrad.
- Nya randvillkor, exempelvis uppdaterade vattendragsmodeller.

Det är svårt att ge en exakt rekommendation rörande hur ofta en skyfallskartering ska uppdateras. En kommun med hög takt på nybyggnation och förändring av infrastruktur får snabbare en inaktuell kartering än en kommun där bebyggelsen är förhållandevis oförändrad. På samma sätt kan detta naturligtvis variera inom olika delar av en kommun.

Som en jämförelse kan nämnas att modeller som används för analyser av ledningsnät uppdateras med exempelvis 2–3 års intervall och vissa kommuner gör även detta årligen, exempelvis för bräddberäkningar till miljörapporter.

Skyfallskartering är en komplex process och det är därför omöjligt att beskriva vilken nivå av förändringar som krävs för att en kartering behöver uppdateras. Stora förändringar av höjder kan ha mycket liten påverkan på resultatet om de sker i en perifer del av modellen eller på en höjdrygg som inte påverkar eller påverkas av en skyfallshändelse. På samma sätt kan en till synes liten förändring, kanske ett förhöjt övergångsställe i en centrummiljö, ha helt avgörande betydelse om den utförs på en kritisk plats.

Det är därför nödvändigt att kontinuerligt reflektera över skyfallsmodellens aktualitet och om den är relevant för syftet. Det förtjänar också att påpekas vikten av att föra en noggrann dokumentation vid framtagandet av skyfallsmodeller för att i ett senare skede ha en referens för att bedöma hur mycket förutsättningarna har förändrats och om det motiverar en uppdatering av skyfallsmodellen.

8. Referenser

Boverket. (2020). *PBL Kunskapsbanken.* Klimataspekter och tidsperspektiv. Hämtat från https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/lansstyrelsens-tillsyn/tillsynsvagledning_naturolyckor/tidsperspektiv/.

CIWEM. (2021). *Integrated Urban Drainage.* Modelling Guide. Version 2.01. May 2021. Hämtat från https://www.ciwem.org/assets/uploads/IUD_1.pdf.

Bengtsson, L. (2014). SVU 2014-19 *Identifiering av extrema händelser och dess översvämningskonsekvenser i tätort.* Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling.

Boverket. (2018). *Tillsynsvägledning avseende översvämningsrisker. Rapport 2018:8.* Hämtat från https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2018/tillsynsvagledning-avseende-oversvamningsrisker.pdf.

Boverket. (2020-12-22). *Klimataspekter och tidsperspektiv.* Hämtat från https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/lansstyrelsens-tillsyn/tillsynsvagledning_naturolyckor/tidsperspektiv/.

Boverket. (2022). *PBL Kunskapsbanken.* Hämtat från Utgångspunkter för bedömning av översvämningsrisk: https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/lansstyrelsens-tillsyn/tillsynsvagledning_naturolyckor/tillsynsvagledning-oversvamning/stod-till-lansstyrelsen-vid-riskbedomning/utgangspunkter/.

Chalmers. (1995). *Kurskompedium VA-teknik.*

COWI; Göteborgs Stad. (2016). *Guide för analys av översvämningsrisker.* Hämtat från https://goteborg.se/wps/wcm/connect/a3df8ea3-f65e-44e2-879a-f35bb4cf202c/Guide_160426.pdf?MOD=AJPERES.

Dahlström, B. (2010). *Regnintensitet - En molnfysikalisk betraktelse.* Hämtat från Svenskt Vatten: http://vav.griffel.net/filer/Rapport_2010-05.pdf.

DEFRA. (2006). *Flood risks to people – Phase 2: The flood risks to people methodology. Department for Environment, Food and Rural Affairs*. Hämtat från https://www.gov.uk/flood-and-coastal-erosion-risk-management-research-reports/flood-risks-to-people-phase-2-managing-risks-and-dangers.

Environment Agency. (April 2019). *What is the Risk of Flooding from Surface Water map? Report version 2.0.* Hämtat från https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/842485/What-is-the-Risk-of-Flooding-from-Surface-Water-Map.pdf.

FEMA. (2022). *Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping.* Hämtat från https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_mt-1-technical-guidance_112022.pdf.

FLOODsite. (2007). *Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods. Report T09-06-01.* . Hämtat från http://www.floodsite.net/html/partner_area/project_docs/T09_06_01_Flood_damage_guidelines_D9_1_v2_2_p44.pdf.

Grahn, T., Nyberg, L., & Blumenthal, B. (2014). *Analys av översvämningsskador - en kunskapsöversikt. Centrum för klimat och säkerhet. Rapport 2014:1.* Hämtat från https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:753233/FULLTEXT01.pdf.

Guldåker, N., Johansson, J., Arvidsson, B., & Svegrup, L. (2018). *Utvecklad riskhantering för samhällsviktiga verksamheter avseende översvämningsrisker.* Hämtat från https://rib.msb.se/filer/pdf/28825.pdf.

Hilgers, & Ahl. (2020). *Hur kan infiltration i åkermark beskrivas vid skyfallskartering?* Hämtat från https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOId=9017839&fileOId=9017850.

Häggström, S. (2009). *Hydraulik för samhällsbyggnad.* Liber. ISBN: 9789147093441.

Lantmäteriet. (2023). *Öppna data.* Hämtat från https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/oppna-data/.

Larsson, R. (2008). *Jords egenskaper.* Hämtat från https://www.sgi.se/globalassets/publikationer/info/pdf/sgi-i1.pdf.

Länsstyrelserna. (2022). *Geodatakatalogen.* Hämtat från https://ext-geodatakatalog.lansstyrelsen.se/GeodataKatalogen/.

Länsstyrelserna i Stockholms och Västra Götalands län. (2018). *Rekommendationer för hantering av översvämning till följd av skyfall - stöd i fysisk planering. Faktablad 2018:5.* Hämtat från https://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/tema/klimat/skyfall/L%C3%A4nsstyrelsen-rekommendationer-%C3%B6versv%C3%A4mning-fr%C3%A5n-skyfall_2018.pdf.

MSB. (april 2011). *Vägledning för Risk- och sårbarhetsanalyser.* Hämtat från Publikationsnummer: MSB245: https://www.msb.se/ribdata/filer/pdf/25893.pdf.

MSB. (2014). *Vägledning för översvämningskartering av vattendrag : fakta, inspirerande exempel och tips för en bra beställning.* Hämtat från https://www.msb.se/sv/publikationer/vagledning-for-oversvamningskartering-av-vattendrag--fakta-inspirerande-exempel-och-tips-for-en-bra-bestallning/.

MSB. (2015). *Metoder för konsekvensanalys på samhällsnivå.* Hämtat från https://www.msb.se/siteassets/dokument/amnesomraden/krisberedskap-och-civilt-forsvar/stod-i-att-analysera-beroenden/metoder-for-konsekvensanalys-pa-samhallsniva.pdf.

MSB. (2017). *Vägledning för skyfallskartering.* Hämtat från https://rib.msb.se/filer/pdf/28389.pdf.

MSB. (2019). *Vägledning för identifiering av samhällsviktig verksamhet. MSB1408.* Hämtat från https://www.msb.se/contentassets/d8fca23b124c4686-a629970fd2c1aa31/vagledning-for-identifiering-av-samhallsviktig-verksamhet-msb1408---juni-2019.pdf.

MSB. (september 2021). *Robusta beslutsstödsmetoder för klimatanpassning: ett sätt attplanera för den som inte behöver veta "var linjen går".* Hämtat från https://rib.msb.se/filer/pdf/29767.pdf.

MSB. (2021a). *Identifiering av samhällsviktig verksamhet: Metod.*

MSB. (2021b). *Identifiering av samhällsviktig verksamhet: Lista med viktiga samhällsfunktioner.*

MSB; SMHI. (december 2020). *Säkert och osäkert i klimatscenarierna.* Hämtat från https://rib.msb.se/filer/pdf/29466.pdf.

Naturvårdsverket. (2022). *Öppna data.* Hämtat från https://oppnadata.naturvardsverket.se/#esc_theme=ecpo%3Adata-theme%2FENVI.

Nyberg, R. (2010). *GIS-tillämpningar inom översvämningshantering - en forskningsöversikt. Centrum för klimat och säkerhet.* Rapport 2010:2. Hämtat från http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:495003/FULLTEXT01.pdf.

Regeringen. (2022). *Uppdrag att utveckla en standardiserad metod för skyfallskartering i tätorter.* Regeringsbeslut. 2022-07-21. M2022/01601.

SEPA. (2015). *Flood Modelling Guidance for Responsible Authorities. Version 1.1.* Hämtat från Scottish Environment Protection Agency: https://www.sepa.org.uk/media/219653/flood_model_guidance_v2.pdf.

SGU. (2015). *Tätande jordlager - en kunskapssammanställning.* SGU-rapport 2015:32. Hämtat från http://resource.sgu.se/produkter/sgurapp/s1532-rapport.pdf.

SGU. (2021). *Hydraulisk konduktivitet i Sveriges berggrund.* Hämtat från https://resource.sgu.se/dokument/publikation/sgurapport/sgurapport202109-rapport/s2109-rapport.pdf.

SMHI. (2017). *Extremregn i nuvarande och framtida klimat.* Hämtat från https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.134304!/klimatologi_47_4.pdf.

SMHI. (den 3 december 2020). *Extrem punktnederbörd.* Hämtat från Kunskapsbanken: https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/extrem-punktnederbord-1.23041.

SMHI. (den 22 juni 2023). *Skyfall och rotblöta.* Hämtat från https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/regn/skyfall-och-rotblota-1.17339 2023-06-29.

SMHI; Svenskt Vatten. (2020). *Nederbördsstatistik för dimensionering av dagvattensystem - "State of the Art".* Hämtat från https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.159923!/State%20of%20the%20Art-2020-03-11_GS.pdf.

Smith, G. P., Davey, E. K., & Cox, R. J. (september 2014). *Flood Hazard. WRL Technical Report 2014/07.* Hämtat från UNSW Australia. Water Research Laboratory.: https://knowledge.aidr.org.au/media/2334/wrl-flood-hazard-technical-report-september-2014.pdf.

Sundberg, J. (1991). *Termiska egenskaper i jord och berg.* Hämtat från https://www.sgi.se/globalassets/publikationer/info/pdf/sgi-i12.pdf.

Svenska vatten- och avloppsverksföreningen (VAV). (1983). *P46 Lokalt omhändertagande av dagvatten - LOD.* Hämtat från https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2018/10/P46.pdf.

Svenska vatten-och avloppsverksföreningen. (1983). *Publikation VAV P46.* Hämtat från Lokalt omhändertagande av dagvatten - LOD. Anvisningar och kommentarer.: https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2018/10/P46.pdf.

Svenskt Vatten. (2011). *Publikation P104 - Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem.*

Svenskt Vatten. (2016). *Publikation P110 - Avledning av dag-, drän- och spillvatten. Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem.*

Svenskt Vatten Utveckling. (2016). *Riktlinjer för modellering av spillvattenförande system och dagvattensystem.* Hämtat från http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2016-15.pdf.

Sweco. (mars 2017). *Beredskapsplanering för skyfall.* Hämtat från Svenskt Vatten Utveckling: https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/produkt/beredskapsplanering-for-skyfall/.

Vägverket. (2008). *VVMB 310 Hydraulisk dimensionering. Publikationsnummer: 2008:61.* Hämtat från Trafikverket: https://trafikverket.ineko.se/se/vvmb-310-hydraulisk-dimensionering.

Bilaga 1 | Tillämpning av metoder

Rekommenderade metoder i vägledningen för skyfallskartering av tätorter har tillämpats i två tätorter, Karlstad och Uddevalla. För vardera tätort har de tre tillämpningsnivåerna enligt vägledningen genomförts. Syftet med tillämpningen är att identifiera begränsningar i metoderna och lyfta fram osäkerheter i metod och resultat.

1. Inledning

Syftet med tillämpningen är att identifiera begränsningar i metodiken genom att jämföra de tre tillämpningsnivåerna i vägledningen på tätorterna Karlstad och Uddevalla. Utöver begränsningar i metodik utvärderas skillnader i resultat samt hur detta påverkar vid olika användningsområden för skyfallskarteringar.

Tillämpningen av metodik har genomförts i tre olika programvaror. Programvarorna nämns ej vid namn men syftet har varit att bedöma om vägledningen kan användas oberoende av val av programvara.

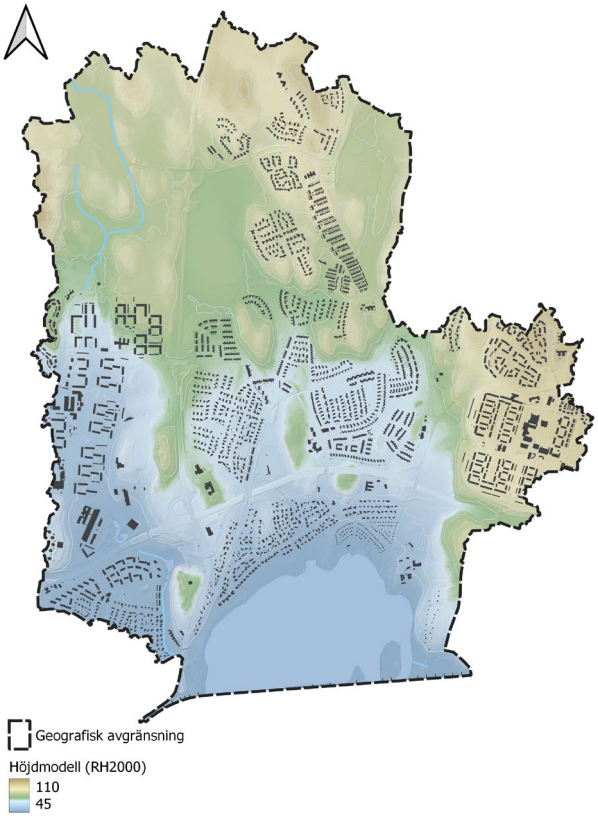
2. Karlstad

Karlstad tätort är belägen i anslutning till norra delen av Vänern i Värmlands län. Klarälven rinner genom staden och mynnar ut i Vänern.

Tillämpningen har avgränsats till ett avrinningsområde i nordöstra delen av Karlstad, se figur 20. Avrinningsområdet uppgår till ca 10 km^2 varav ca 3,5 km^2 utgör tätort. Avrinning sker till Kroppkärrssjön. Topografin i området varierar mellan ca +46 till +108 m.

Jordarterna i avrinningsområdet utgörs främst av postglacial sand, sandig morän och urberg.

Figur 20. Översikt över geografisk avgränsning av skyfallskartering för Karlstad norr om Kroppkärrssjön.



2.1 Förenklad analys

Den förenklade analysen är en statisk skyfallskartering som har genomförts med ett verktyg som beräknar avrinningsvägar i terrängen och distribuerar givna vattenvolymer i topografiska lågpunkter baserat på storleken på uppströms liggande avrinningsområde. Verktyget beaktar inte tidsaspekter, vilket bland annat innebär att den regnvolym som applicerats kan liknas vid att allt regn fallit ”på en gång”.

Underlag som använts för analysen:

- Höjdmodell med 1x1 m upplösning (Lantmäteriets Markhöjdmodell grid1+, insamlingsdatum 2022-12-15). I underlaget har större broar och underfarter justerats.
- Markanvändning (ytor är klassade som antingen hårdgjorda eller genomsläppliga ytor) baserat på en ortofotoanalys från år 2021–2023 med en upplösning på 25 cm.
- Nederbördsstatistik enligt Dahlström 2010 för ett regn med 100 års återkomsttid, 6 timmars varaktighet och klimatfaktor 1,25. Det ger en total volym för regnbelastningen som uppgår till 105,6 mm.
- SGU:s jordartskarta 1:25 000–100 000 (2022-12-15), som visar jordarter 0,5 m under markytan. Jordarterna har kategoriserats i 10 olika klasser: block, grus, sand, finsand, silt, grov lera, lera, finlera, torv, berg, glaciär och vatten.

Utöver justerade broar och underfarter som ingick i underlaget, har höjdmodellen justerats ytterligare där Lantmäteriets hydrografilinje korsar vägar, järnvägar, dammar och överfall. Byggnader har höjts upp.

I analysen har avdrag för infiltration tillämpats på genomsläppliga ytor genom ett schablonavdrag. Storleken på avdraget bestäms av underliggande jordartsklass och applicerad nederbördsvolym. För studerad regnvolym på 105,6 mm blir motsvarande schablonavdrag för exempelvis lera 24,6 mm.

Ledningsnätets kapacitet beaktas med avdrag om 45 mm på hårdgjorda ytor, vilket kan jämföras med ett blockregn med 20 års återkomsttid och 4 timmars varaktighet eller 5-årsregn med 12 timmars varaktighet.

2.2 Detaljerad analys

Den detaljerade analysen har genomförts med en hydrodynamisk modell.

Samma underlag som i den förenklade analysen har använts med undantag för:

- Nederbördsstatistik enligt Dahlström 2010 för ett regn med 100 års återkomsttid, 6 timmars varaktighet och klimatfaktor 1,25. Det ger en total volym för regnbelastningen som uppgår till 105,6 mm. Regnbelastningen har fördelats efter ett CDS-regn med r-parameter 0,05.

I modellen används ett kvadratiskt beräkningsnät med 4x4 m upplösning. Observera att det innebär att höjdmodellens höga upplösning (1x1 m) inte nyttjas.

Markytans råhet beskrivs med 4x4 m upplösning enligt analys av hårdgjorda ytor från ortofoto. Den mest dominerande markanvändningen inom cellen används för beräkningen. Lägsta Mannings tal är 2 för exempelvis skogsområden och högsta Mannings tal är 52 för vägar.

Beskrivning enligt modellen Green-Ampt har nyttjats för att beräkna infiltration utifrån olika jordarter enligt SGU:s jordartskarta. Infiltrationshastigheten varierar över tid baserat på hydraulisk konduktivitet, kapillaritet, porositet och initial vattenmättnadsgrad. Ingen infiltration har applicerats för hårdgjorda ytor.

Avledning i ledningsnät beaktas genom att applicera ett flöde till varje känd rännstensbrunn inom modellområdet. Brunnarna modelleras utan ett ledningsnät och flödet extraheras direkt från modellen. Flödet som fångas upp av brunnarna baseras på förhållandet med vattendjupet, dvs. vattendjupet över rännstensbrunnarna styr flödeskapaciteten. Flödeskapaciteten har begränsats till 10 l/s, tillsammans med ett antagande om blockering på 10 % för att ta hänsyn till att ledningsnätet inte representerats i modellen och minskad kapacitet på grund av löv som täcker rännstensbrunnen.

2.3 Fördjupad analys

Den fördjupade analysen har genomförts med en hydrodynamisk modell, som kopplats ihop med en ledningsnätsmodell över det allmänna dagvattenledningssystemet.

Samma underlag som den detaljerade analysen har använts.

I modellen används ett kvadratiskt beräkningsnät med 2x2 meter upplösning, där hydrauliska beräkningar utförs för delceller inom beräkningsnätet med 1x1 m upplösning i simuleringen. Resultat är därav redovisat för 1x1 m upplösning.

Markytans råhet beskrivs med 2x2 m upplösning enligt analys av hårdgjorda ytor från ortofoto. Lägsta Mannings tal är 2 för exempelvis skogsområden och högsta Mannings tal är 52 för vägar.

Beskrivning enligt modellen Green-Ampt har nyttjats för att beräkna infiltration utifrån olika jordarter enligt SGU:s jordartskarta. Infiltrationshastigheten varierar över tid baserat på hydraulisk konduktivitet, kapillaritet, porositet och initial vattenmättnadsgrad. Ingen infiltration har applicerats för hårdgjorda ytor.

Kopplingar mellan markyta och ledningsnät sker genom brunnar, inlopp och utlopp. Flödet som fångas upp av brunnarna baseras på förhållandet med vattendjupet, dvs. vattendjupet över rännstensbrunnarna styr flödeskapaciteten. Flödeskapaciteten har begränsats till 15 l/s.

2.4 Resultat

2.4.1 Jämförelser av vattendjup och utbredning

För den förenklade analysen visas hur hela regnvolymen, minus avdrag för infiltration och avledning i ledningsnät, har fördelats i lågpunkter i terrängen. För de detaljerade och fördjupade analyserna visas ett statistiskt resultat för när maximala vattendjup har uppstått i respektive beräkningscell någon gång under simuleringen. Observera att de maximala vattendjupen inte inträffar samtidigt i hela modellen.

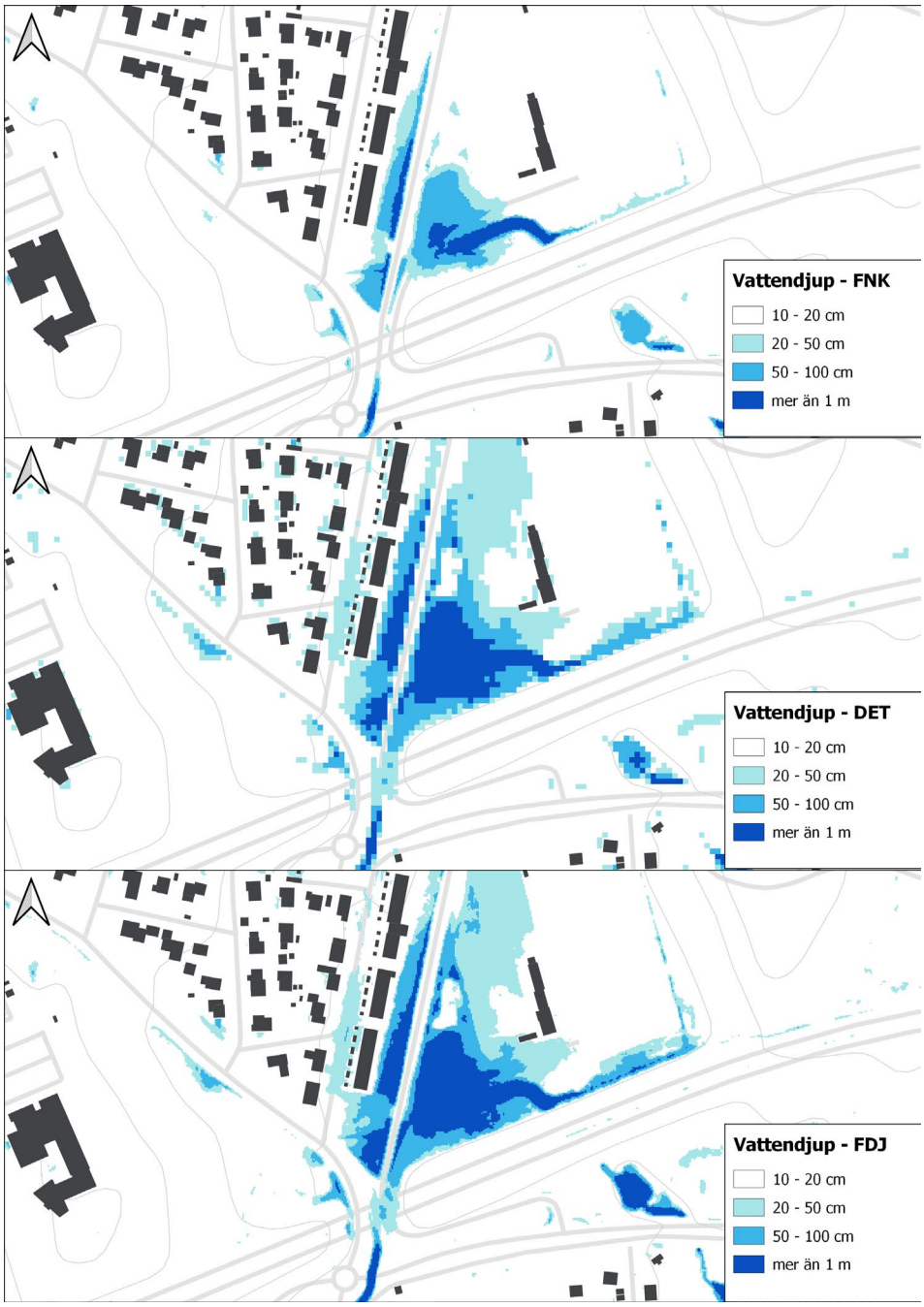
I figur 21 och figur 22 visas en jämförelse mellan beräknat vattendjup med de tre analyserna för bostadsområdena på Lorensberg och Norra Kroppkärr, i Karlstad tätort. Stor skillnad i vattendjup och utbredning kan ses i resultatet från den förenklade analysen och de detaljerade/fördjupade analyserna, där djup och utbredning är markant mindre i den förenklade analysen. Lågpunkternas utbredning i den förenklade analysen är markant mindre på grund av att höjdmodellen har justerats för diverse konstruktioner, vilket medför att ett obegränsat flöde passerar genom en annars begränsande kulvert. En konsekvens av denna metod är att översvämning orsakad av konstruktioner kan underskattas. För den detaljerade analysen, där inga justeringar av höjdmodellen har genomförts och ledningsnätet inte är integrerat i modellen, kan å andra sidan översvämningens omfattning överskattas.

Den förenklade analysen underskattar vattendjup som uppstår på vägar, där de detaljerade och fördjupande analyserna visar på vattendjup över 20 cm. Den förenklade analysen för denna studie är därför inte tillförlitligt att använda för utvärdering av tillgänglighet.

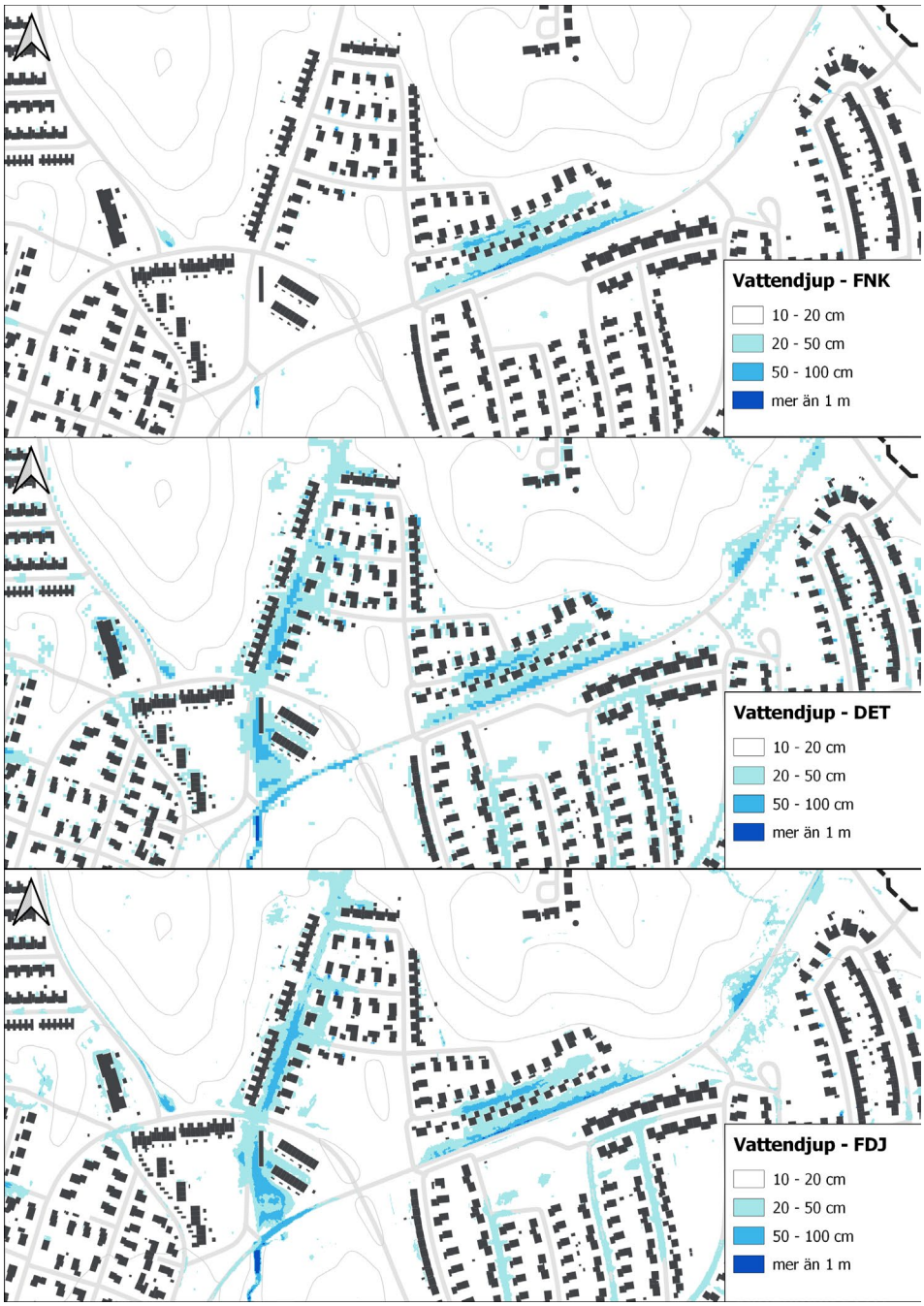
Mellan den detaljerade och fördjupade analysen ses inte lika tydliga skillnader i vattendjup och utbredning, utan främsta noterbara skillnad är att resultatet är av olika upplösning. Skillnaden i vattendjup och utbredning blir mest märkbar för små lågpunkter. Till exempel i anslutning till hus, som beskrivs med grövre pixlar med lägre upplösning i den detaljerade analysen, vilket medför att vattenflöden saktas ner och vatten dämmer utmed husfasader.

Likheterna i resultatet för vattendjup mellan den detaljerade och fördjupade analysen visar att den enklare metoden för att beskriva avledning i ledningsnätet genom reduktion av flöde i brunnar, ger ett tillfredsställande resultat i relation till modellering av ledningsnätet i helhet. I den detaljerade analysen sker ett lägre utflöde, under hela simuleringstiden, medan avtappningen i den fördjupade analysen är mindre begränsad (med avseende på maxflöde i kopplingen) samtidigt som det även kan ske uppdämning från ledningsnätet.

Figur 21. Jämförelse av vattendjup vid bostadsområde Norra Kroppkärr, i Karlstad tätort. Överst i figur visas utbredning och maximalt vattendjup från den förenklade analysen. I mitten och nederst i figur visas motsvarande från detaljerad respektive fördjupad analys.



Figur 22. Jämförelse av vattendjup vid bostadsområde Lorensberg, i Karlstad tätort. Överst i figur visas utbredning och maximalt vattendjup från den förenklade analysen. I mitten och nederst i figur visas motsvarande från detaljerad respektive fördjupad analys.



2.4.2 Jämförelser av flöden och rinnvägar

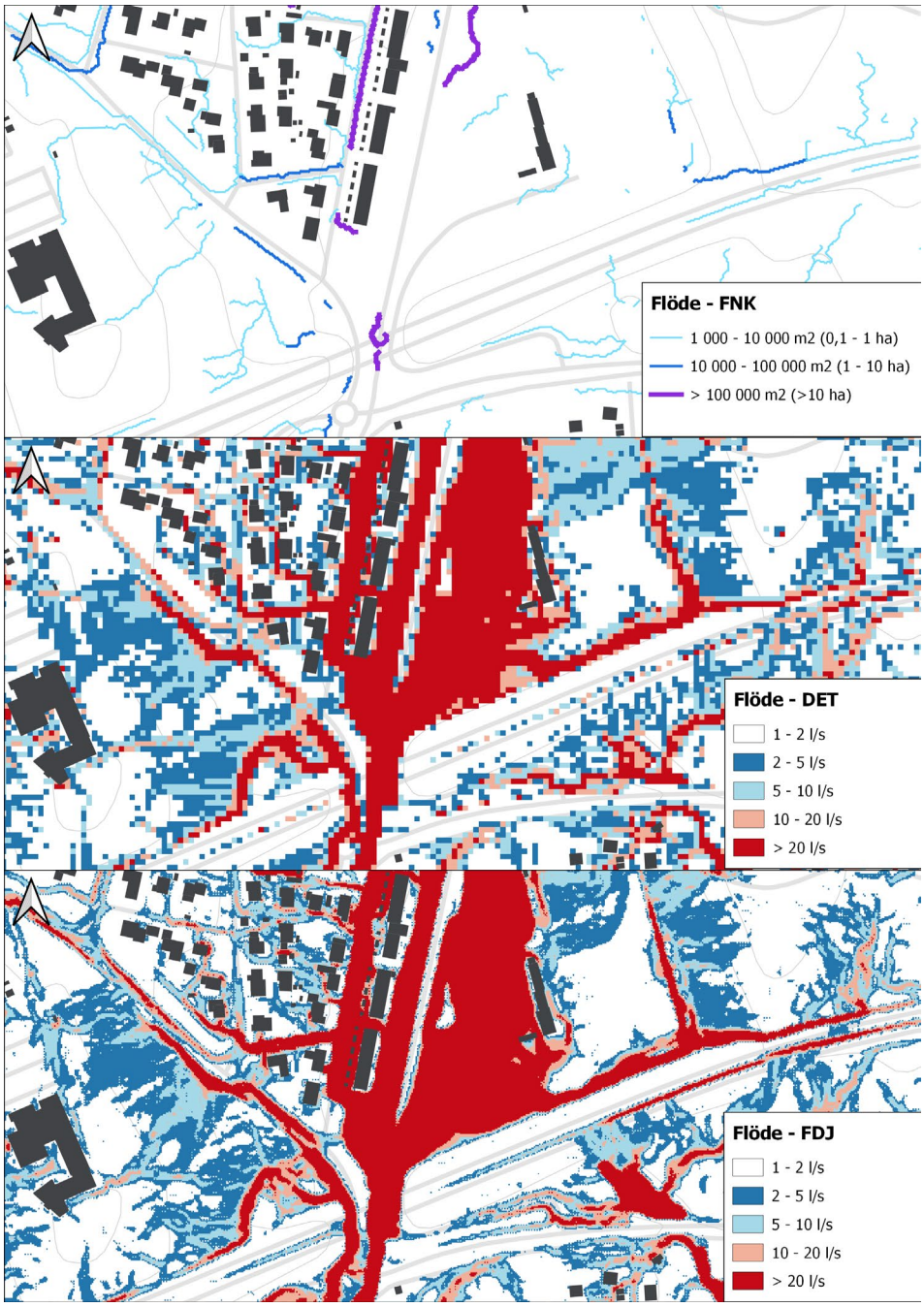
I figur 23 och figur 24 visas resultat för flödesvägar från den förenklade analysen samt maximala flöden från detaljerad respektive fördjupad analys. För flödesvägar visas hur stor yta uppströms som bidrar med avrinning. För detaljerad och fördjupad analys visas maximala ytvattenflöden i varje beräkningscell. Observera att maxflödena inte inträffar samtidigt i hela modellen.

Den förenklade analysen visar inget resultat för vattenflöden, utan endast flödesvägar till lågpunkter. Resultatet kan vara svårt att tyda utan lågpunkterna inkluderade, då flödesvägarna inte blir sammanhängande.

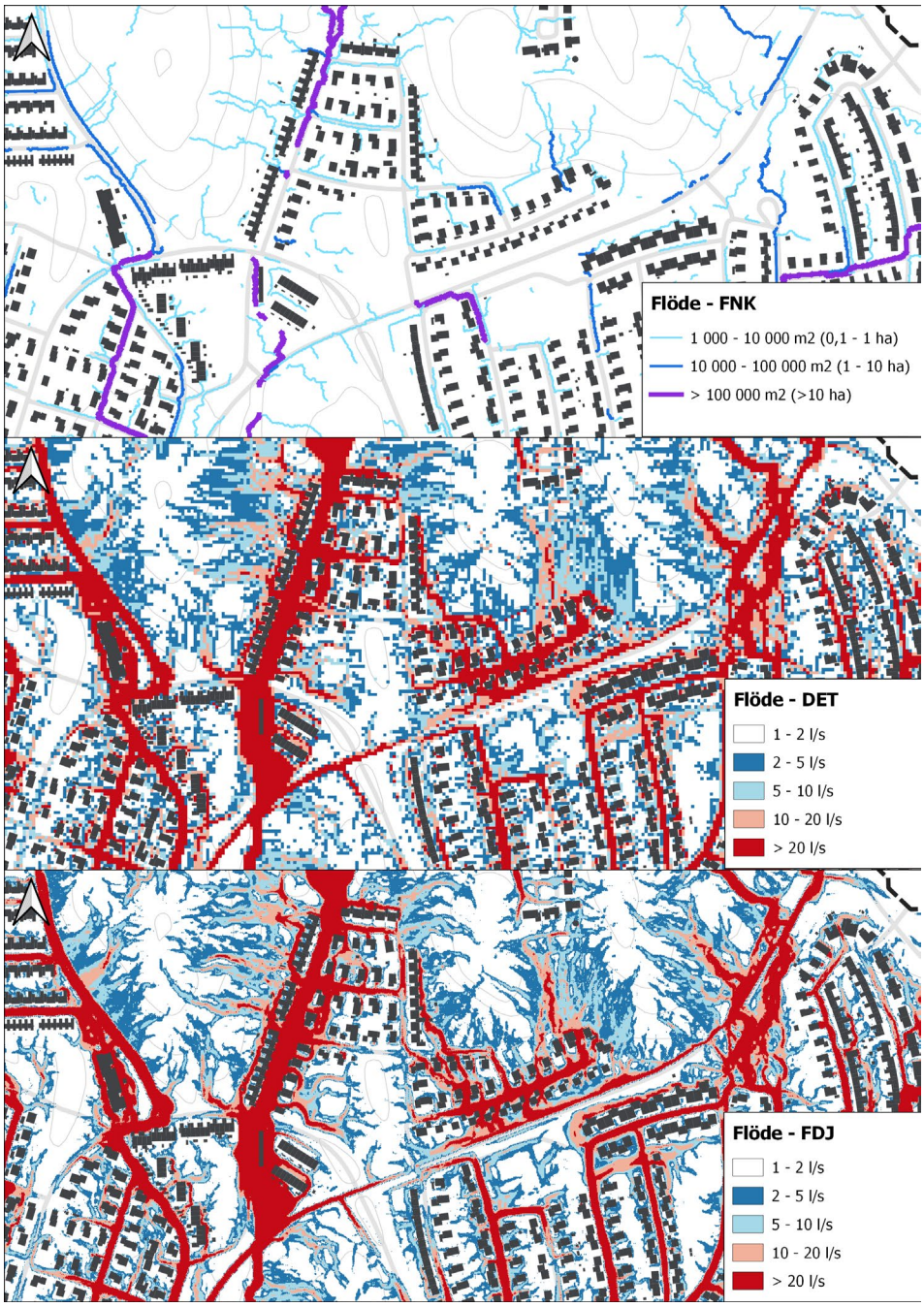
Den detaljerade och fördjupade analysen visar på det stora hela ett liknade resultat för vattenflöden, men skillnader kan ses vid mer ingående analys. Skillnaderna i resultaten beror främst på att analyserna utförts för olika upplösning av beräkningsnätet. Den fördjupade analysen med en högre upplösning definierar flödena bättre till exempel runt och mellan byggnader samt i diken. Medan den detaljerade analysen visar på lägre flöden runt byggnader, till följd av att dessa beskrivs med grövre pixlar med den lägre upplösningen på beräkningsnätet. Detta medför även att flöden mellan byggnader beskrivs sämre i den detaljerade analysen. I smala passager mellan byggnader kan å andra sidan högre flöden uppstå i den detaljerade analys i jämförelse med den fördjupade analysen. Detta på grund av att vatten forceras genom ett utrymme som blir mindre på grund av den lägre upplösningen av byggnaderna.

En annan förklaring till att högre flöden ses i den detaljerade analysen i jämförelse med den fördjupade analysen, kan vara att ledningsnätets kapacitet beskrivs olika mellan de två analyserna. Den detaljerade analysen har ett lägre begränsat utflöde i och med viss blockering av flödet i brunnarna, samtidigt som ingen hänsyn tas till ledningsnätets kapacitet. Beskrivning av höjdmodell, infiltration och råhet är samma i den detaljerade och fördjupade analysen.

Figur 23. Jämförelse av vattenflöde vid bostadsområde Norra Kroppkärr, i Karlstad tätort. Överst visas flödesvägar från den förenklade analysen. I mitten och nederst i figur visas maximala flöden från detaljerad respektive fördjupad analys.



Figur 24. Jämförelse av vattenflöde vid bostadsområde Lorensberg, i Karlstad tätort. Överst visas flödesvägar från den förenklade analysen. I mitten och nederst i figur visas maximala flöden från detaljerad respektive fördjupad analys.



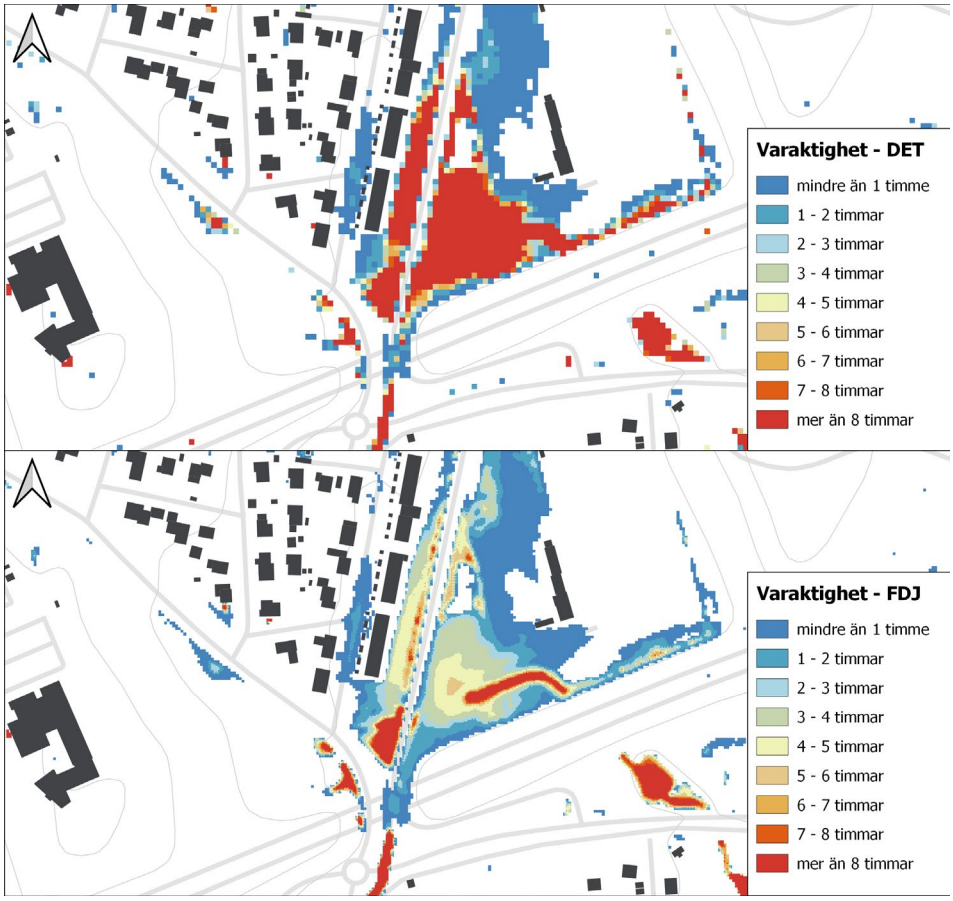
2.4.3 Jämförelser av översvämningsvaraktighet

I figur 25 visas översvämningsvaraktigheten för detaljerad respektive fördjupad analys för bostadsområden i Norra Kroppkärr, i Karlstads tätort. Varaktigheten visar hur länge vattendjupet överstiger 20 cm. Med förenklad analys beaktas ej tidsaspekter varför resultat om översvämningsvaraktighet saknas.

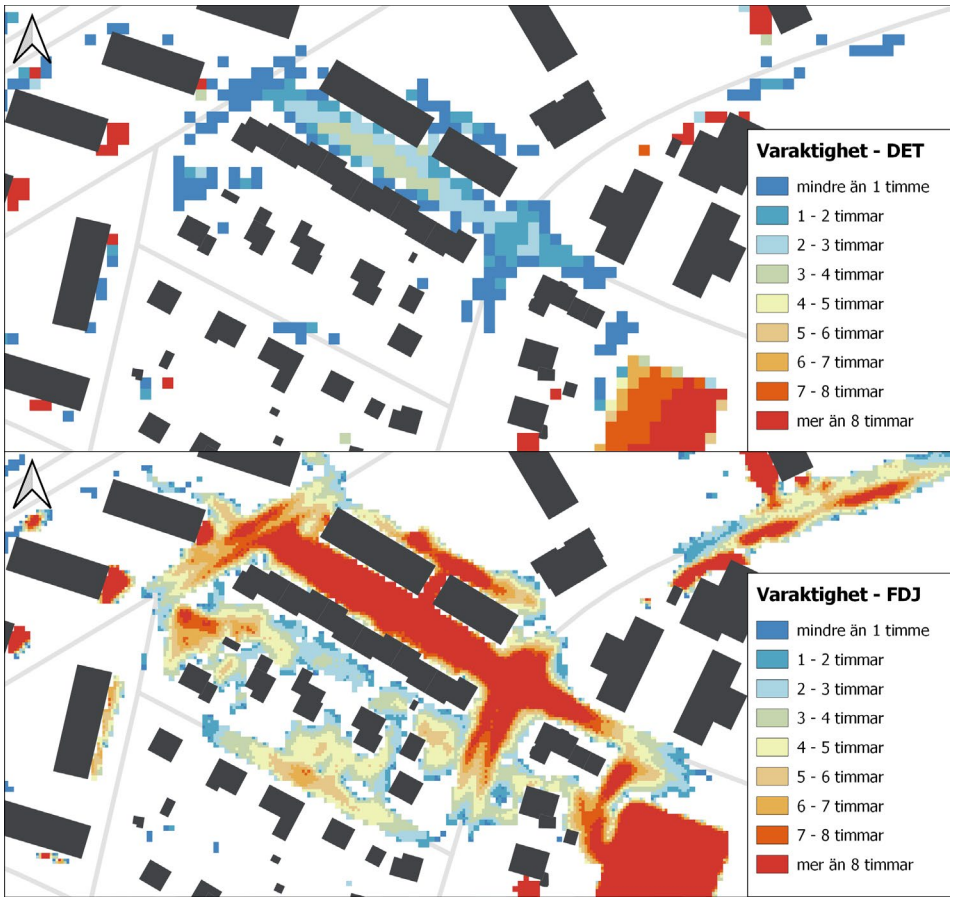
Skillnaderna mellan den detaljerade och fördjupade analysen är tydliga. I den detaljerade analysen extraheras flöde direkt från modellen vid rännstensbrunnarnas läge utan att ta hänsyn till ledningsnätets kapacitet. Detta medför i exemplet för Norra Kroppkärr, se figur 25, att översvämningsvaraktigheten blir längre i relation till den fördjupade analysen där området kan dräneras via en ledning under vägen. Detta innebär att det detaljerade analysen i detta fall överskattar översvämningsvaraktigheten.

För ett annat exempel vid Gränsgatan i figur 26 ses att översvämningsvaraktigheten underskattas i den detaljerade analysen i jämförelse till den fördjupade analysen. Detta sker eftersom den detaljerade analysen endast beskriver flöde ut från modellen i nedstigningsbrunnar utan hänsyn till belastning i ledningsnätet. I området sker en uppdämning av vatten från ledningsnätet i den fördjupade analysen, vilket leder till längre översvämningsvaraktighet.

Figur 25. Jämförelse av översvämningsvaraktighet vid bostadsområde Norra Kroppkärr, i Karlstad tätort. Överst i figur visas översvämningsvaraktigheter för vattendjup över 20 cm från den detaljerade analysen. Nederst i figur visas motsvarande resultat för fördjupad analys.



Figur 26. Jämförelse av översvämningsvaraktighet på Gränsgatan i Karlstad tätort. Överst i figur visas översvämningsvaraktigheter för vattendjup över 20 cm från den detaljerade analysen. Nederst i figur visas motsvarande resultat för fördjupad analys.



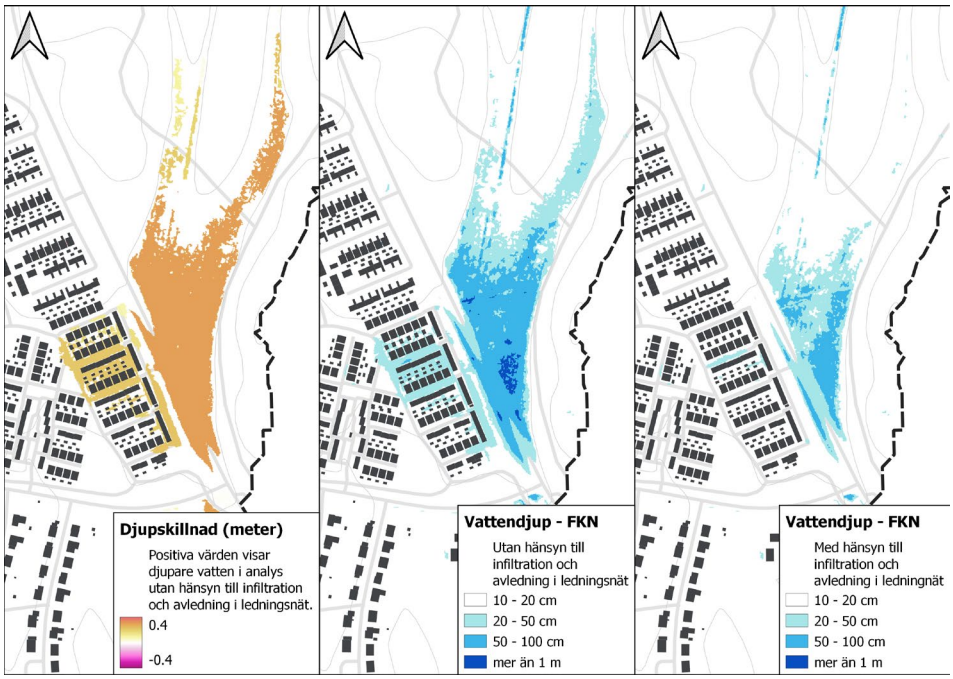
2.4.4 Känslighetsanalys för avdrag på ytavrinning vid förenklad analys

En känslighetsanalys för den förenklade analysen har utförts med avseende på möjligheten att göra schablonavdrag för infiltration och avledning i ledningsnät.

I figur 27 ses områden med genomsläppliga ytor utmed Stormyrsgatan, i Karlstad tätort, som varit fokus för känslighetsanalysen. Av analysen framgår att den förenklade analysen, som inte tar hänsyn till avdrag för infiltration och ledningsnät, medför ett större vattendjup än analysen som tar hänsyn till schablonavdrag. Skillnaden i vattendjup för detta fall är ca 0,3 m. I aktuellt område innebär vattendjupet att lågpunkten breder ut sig på ett större område så att ett bostadsområde översvämmas. Med hänsyn till schablonavdrag för infiltration och ledningsnät görs i stället bedömningen att bostadsområdet är torrlagt.

Underlag som använts för båda analyserna är beskrivet i avsnitt 2.

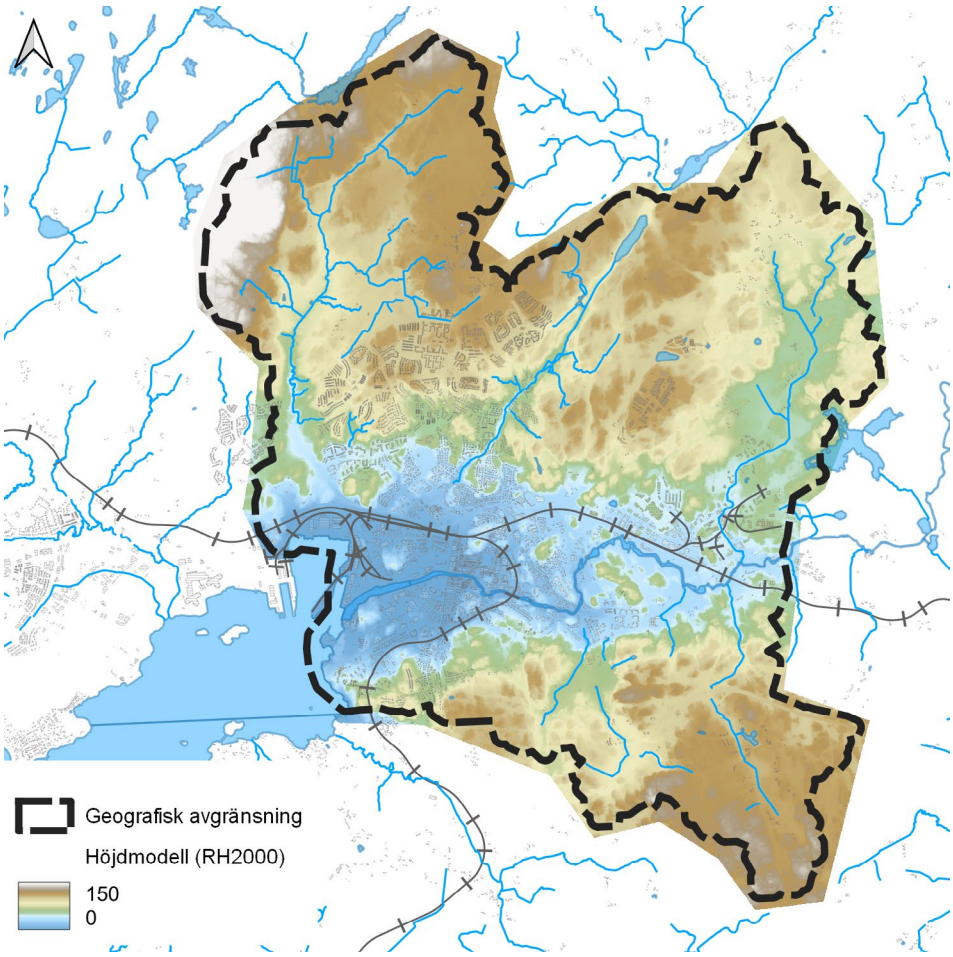
Figur 27. Jämförelse av vattendjup mellan två förenklade analyser utan och med hänsyn till avdrag för infiltration och avledning i ledningsnät vid Stormyrsgatan i Karlstad tätort.



3. Uddevalla

Uddevalla tätort är beläget i Bohuslän vid Bäveåns mynning till Byfjorden. Bäveån rinner igenom tätorten och har ett avrinningsområde som uppgår till ca 300 km^2, varav avrinningsområdet till tätorten är ca 50 km^2, se figur 28. Topografin i avrinningsområdet varierar från havsnivå upp till ca +170 m. De högre belägna områdena återfinns norr och söder om tätorten. Tätorten är lokaliserad i avrinningsområdets lägst belägna delar där marken lutar flackt mot Bäveån. Jordarterna i avrinningsområdet utgörs främst av berg, lera och fyllnadsmassor.

Figur 28. Översikt över geografisk avgränsning av skyfallskartering för Uddevalla tätort.



3.1 Förenklad analys

Den förenklade analysen är en statisk skyfallskartering som har genomförts med ett verktyg som beräknar avrinningsvägar i terrängen och distribuerar givna vattenvolymer i topografiska lågpunkter baserat på storleken på uppströms liggande avrinningsområde. Verktyget beaktar inte tidsaspekter, vilket bland annat innebär att den regnvolym som applicerats kan liknas vid att allt regn fallit ”på en gång”.

Underlag som använts för analysen:

- Höjdmodell med 1x1 m upplösning (Lantmäteriets Markhöjdmodell grid1+, insamlingsdatum 2021-03-30). I underlaget har större broar och underfarter justerats.
- Markanvändning (byggnader, övriga hårdgjorda ytor, genomsläppliga ytor, vattenytor).
- Nederbördsstatistik enligt Dahlström 2010 för ett regn med 100 års återkomsttid, 6 timmars varaktighet och klimatfaktor 1,25. Det ger en total volym för regnbelastningen som uppgår till 105,6 mm.
- SGU:s jordartskarta som visar jordarter 0,5 m under markytan. Jordarterna har kategoriserats i 10 olika klasser: block, grus, sand, finsand, silt, grov lera, lera, finlera, torv, berg, glaciär och vatten.

Utöver justerade broar och underfarter som ingick i underlaget har höjdmodellen justerats ytterligare där Lantmäteriets hydrografilinje korsar vägar, järnvägar, dammar, överfall och byggnader.

I analysen har avdrag för infiltration tillämpats på genomsläppliga ytor genom ett schablonavdrag. Storleken på avdraget bestäms av underliggande jordartsklass och applicerad nederbördsvolym. För studerad regnvolym på 105,6 mm blir motsvarande schablonavdrag för exempelvis lera 24,6 mm.

Ledningsnätets kapacitet beaktas med avdrag om 45 mm på hårdgjorda ytor, vilket kan jämföras med ett blockregn med 20 års återkomsttid och 4 timmars varaktighet eller 5-årsregn med 12 timmars varaktighet.

3.2 Detaljerad analys

Den detaljerade analysen har genomfört med en hydrodynamisk modell.

Underlag som använts för analysen:

- Höjdmodell med 1x1 m upplösning (Lantmäteriets Markhöjdmodell grid1+, insamlingsdatum 2021-03-30) (samma underlag som för förenklad analys).
- Nederbördsstatistik enligt Dahlström 2010 för ett regn med 100 års återkomsttid, 6 timmars varaktighet och klimatfaktor 1,25. Det ger en total volym för regnbelastningen som uppgår till 105,6 mm. Regnbelastningen har fördelats efter ett CDS-regn med r-parameter 0,37.
- Markanvändning (ytor är klassade som antingen hårdgjorda eller genomsläppliga ytor, baserat på en ortofotoanalys från 2021).

I modellen används ett kvadratiskt beräkningsnät med 4x4 m upplösning. Observera att det innebär att höjdmodellens höga upplösning (1x1 m) inte nyttjas.

Markytans råhet beskrivs med 4x4 m upplösning och varierar med markanvändningen enligt Fastighetskartan och analys av hårdgjorda ytor från ortofoto. Lägsta Mannings tal är 2 för exempelvis skogsområden och högsta Mannings tal är 52 för vägar.

Konstant infiltration om 0,36 mm/timme har använts för alla genomsläppliga ytor. Vald infiltrationskapacitet ligger inom spannet för flera typer av jordarter, men något högre än vad som rekommenderas för lerjordar och sannolikt lägre än vad som kan förväntas i fyllnadsmassor och berg som också förekommer i avrinningsområdet. Ingen infiltration tillämpas på hårdgjorda ytor.

Ledningsnätets kapacitet beaktas genom ett schablonavdrag på nederbördsbelastningen för hårdgjorda ytor. Avdragets intensitet varierar över tid och motsvarar ett CDS-regn med 10-års återkomsttid utan klimatfaktor.

3.3 Fördjupad analys

Den detaljerade analysen har genomförts med en hydrodynamisk modell, som kopplats ihop med en ledningsnätsmodell över det allmänna dagvattenledningssystemet och en vattendragsmodell för Bäveån.

Underlag som använts för analysen:

- Höjdmodell med 1x1 m upplösning (Lantmäteriet, 2021-03-31).
- Nederbördsstatistik enligt Dahlström 2010 för ett regn med 100 års återkomsttid, 6 timmars varaktighet och klimatfaktor 1,25. Det ger en total volym för regnbelastningen som uppgår till 105,6 mm. Regnbelastningen har fördelats efter ett CDS-regn med r-parameter 0,37 (samma underlag som för detaljerad analys).
- Markanvändning enligt Lantmäteriets klassning i Fastighetskartan för skikten ms (sankmark), my (markyta) och by (byggnadsyta) samt buffrade linjer för jl (järnvägslinjer), vl (väglinjer) och vo (övriga väglinjer) (2021-03-31) (samma underlag som för detaljerad analys).
- Ortofoto med IR (2021-03-16).
- SGU:s jordartskarta (2021-04-14).

I modellen används ett triangulärt beräkningsnät med varierad upplösning, från ca 1 m^2 i tätorten till ca 40 m^2 i avrinningsområdets ytterområden. Höjdmodellen har justerats för gångtunnlar och andra strukturer som inte finns beskrivet i underlaget.

Markytans råhet beskrivs med 2x2 m upplösning och varierar med markanvändningen enligt Fastighetskartan och analys av hårdgjorda ytor från ortofoto. Lägsta Mannings tal är 2 för exempelvis skogsområden och högsta Mannings tal är 52 för vägar.

Infiltrationskapaciteten i marken beskrivs med en infiltrationsmodul. I infiltrationsmodulen definieras för fem grupper av jordarter (berg, sand, lera, klapper och moräner) jordlagrets mäktighet, porositet, infiltrationsförmåga, det vertikala läckaget till grundvattenytan i underliggande jordlager samt initial mättnadsgrad. Infiltrationshastigheterna varierar mellan 0,001–180 mm/h.

Kopplingar mellan markyta och ledningsnät sker genom brunnar, inlopp och utlopp. Koppling mellan markyta och vattendrag sker genom laterala kopplingar längsmed vattendraget.

Havsvattennivån har satts till +0,37 (förväntat framtida medelvattenstånd i slutet av detta århundrade). Bäveån har modellerats med ett 10-årsflöde från områden uppströms i avrinningsområdet. 10-årsflödet i Bäveån valdes som randvillkor eftersom sannolikheten att skyfall och höga flöden i Bäveån inträffar samtidigt bedöms liten. Nederbörd som faller i avrinningsområdet för markavrinningsmodellen bidrar till flödet i Bäveån allt eftersom det rinner ut i ån.

Nederbördsbelastningen på hårdgjorda ytor har fördelats så att hårdgjorda ytor belastas i ledningsnätsmodellen med CDS-regn med 10-års återkomsttid utan klimatfaktor. I markavrinningsmodellen har motsvarande regnbelastning reducerats från 100-årsregnet med klimatfaktor 1,25 på hårdgjorda ytor. På genomsläppliga sker hela regnbelastningen i markavrinningsmodellen.

3.4 Resultat

3.4.1 Jämförelser av vattendjup och utbredning

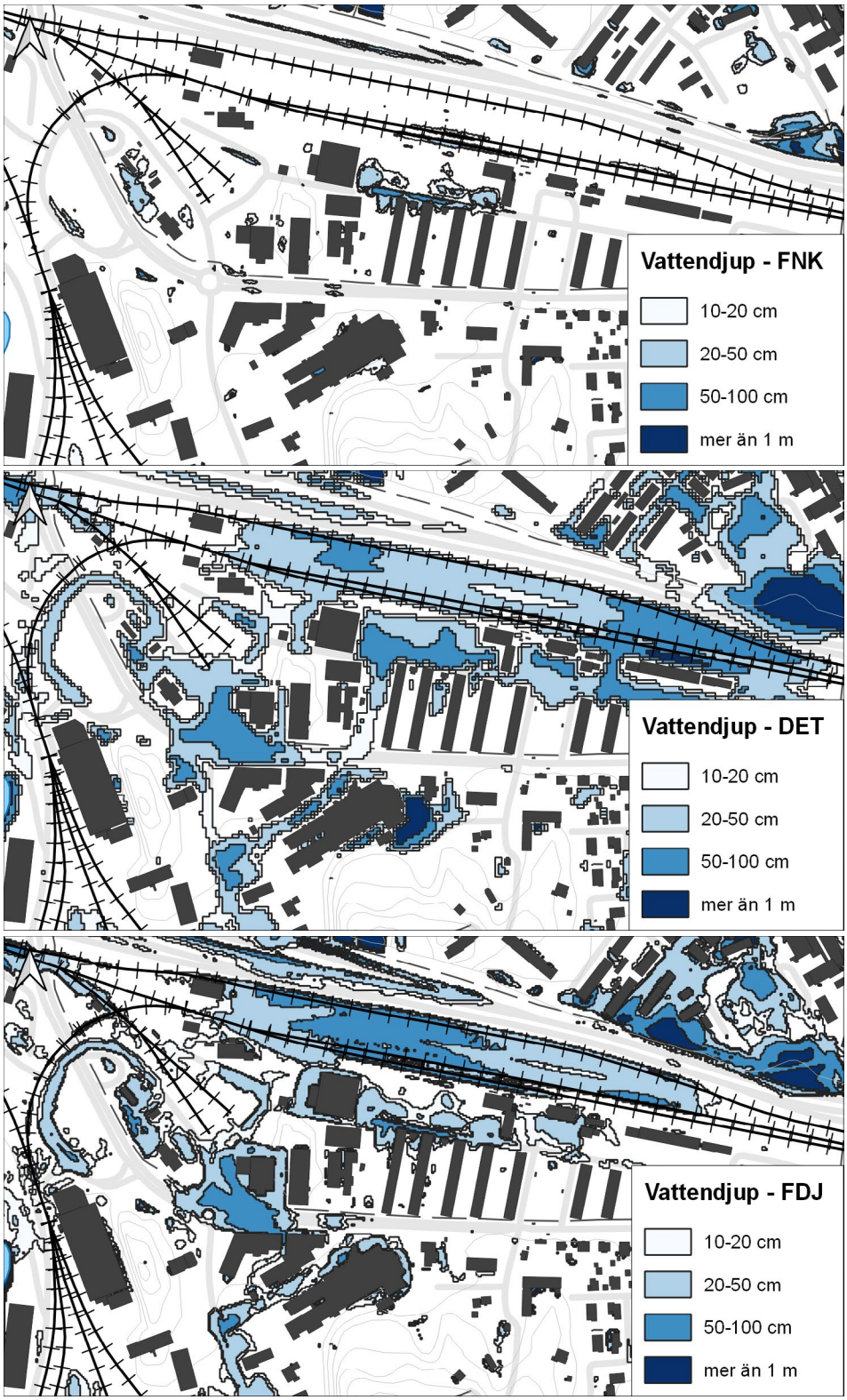
För den förenklade analysen visas hur hela regnvolymen, minus avdrag för infiltration och avledning i ledningsnät, har fördelats i lågpunkter i terrängen. För den detaljerade respektive fördjupade analysen visas ett statistiskt resultat för när maximala vattendjup har uppstått i respektive beräkningscell någon gång under simuleringen. Observera att de maximala vattendjupen inte inträffar samtidigt i hela modellen.

I figur 29 visas ett exempel inom Uddevalla tätort, för ett område söder om järnvägen norr om Bäveån. Figuren visar att skillnaden mellan vattendjup och utbredning är mest markant mellan den förenklade analysen som genomförts med ett statiskt verktyg, jämfört med de detaljerade och fördjupade analyserna som gjorts med hydrodynamiska modeller. Inom de centrala och tätbebyggda delarna av Uddevalla i flacka områden närmast Bäveån så erhölls generellt störst utbredning av den detaljerade analysen och minst utbredning av den förenklade analysen – men skillnaderna varierar i olika områden. Då den detaljerade analysen bygger på mer konservativa antaganden än den fördjupade analysen, förväntades den ge generellt mest översvämning men så var inte alltid fallet. En anledning till detta är bland annat avdragen för ledningsnät och infiltration. Jämfört med den fördjupade analysen blir den totala volymbelastningen mindre i den detaljerade analysen jämfört med den fördjupade.

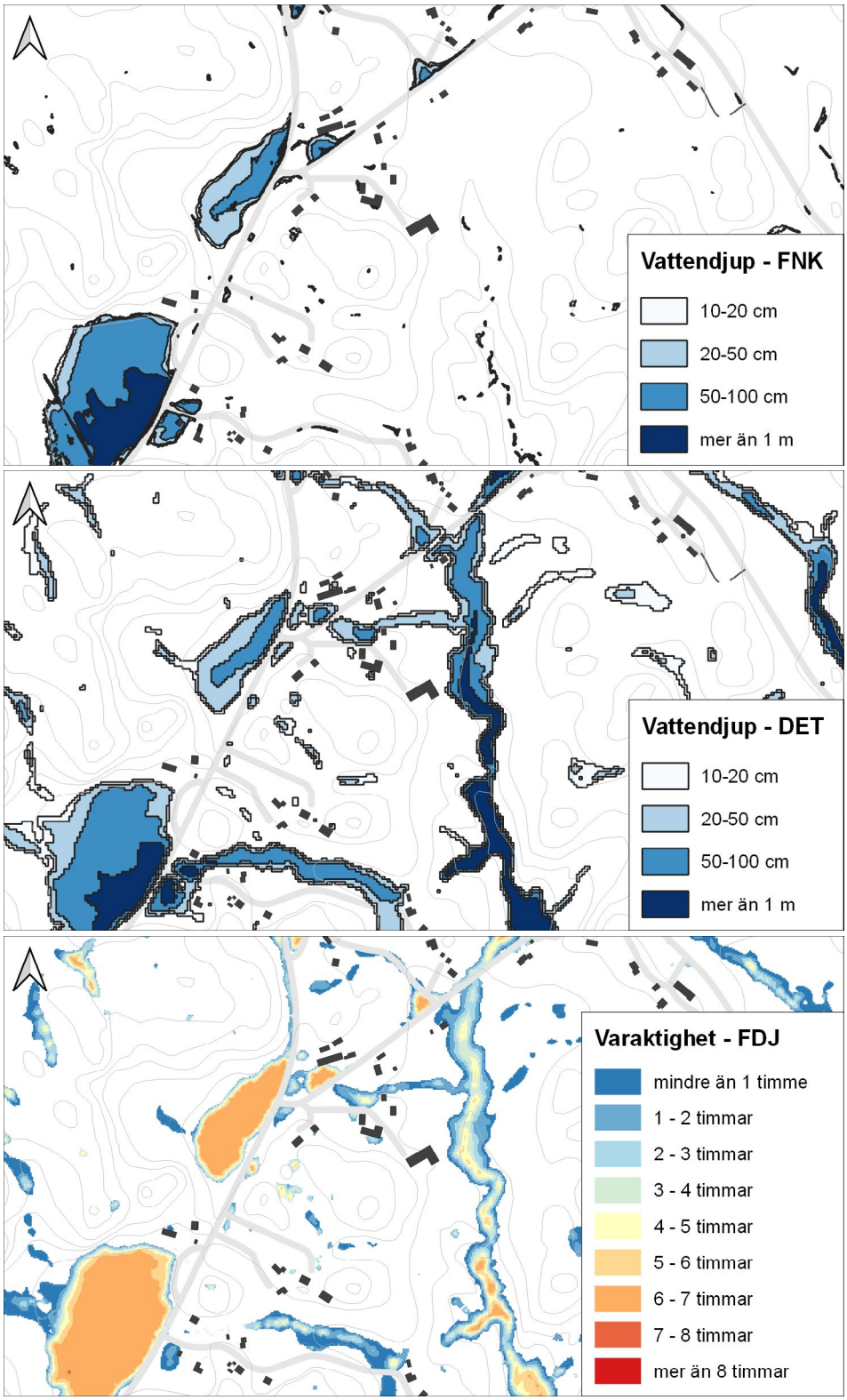
Längre upp i avrinningsområdena är skillnaderna i utbredning större. I figur 30 visas ett exempel över området Nordmanneröd, nordost om Uddevalla. I detta område finns primärt genomsläppliga ytor i form av natur- och åkermark. Antaganden kring infiltration har därför större påverkan. I den fördjupade analysen finns inget ledningsnät modellerat för området. I den förenklade analysen är översvämningsutbredningen begränsad till enstaka mindre vattenansamlingar som utgörs av topografiskt instängda områden. Den detaljerade analysen visar jämfört med fördjupad analys på mer vatten i flödesvägar och mindre vatten i instängda områden. Skillnaderna i resultat i detta område har främst att göra med beskrivning av infiltration och upplösning på beräkningsnätet.

I de lägre belägna områdena i modellen är skillnaden mellan de tre karteringarna mindre, en effekt av att översvämningen är så omfattande i alla scenarier att lågpunkter fylls upp till bräddnivåer. Störst skillnad mellan förenklad, detaljerad och fördjupad analys påträffas i de större avrinningsvägarna, eftersom den förenklade analysen är statisk och inte kan visa vattnets utbredning i flödesvägar.

Figur 29. Jämförelse av vattendjup vid centralstation i Uddevalla. Överst i figur visas utbredning och maximalt vattendjup från den förenklade analysen. I mitten och nederst i figur visas motsvarande från detaljerad respektive fördjupad analys.



Figur 30. Jämförelse av vattendjup i Nordmanneröd, nordost om Uddevalla. Överst i figur visas utbredning och maximalt vattendjup från den förenklade analysen. I mitten och nederst i figur visas motsvarande från detaljerad respektive fördjupad analys.



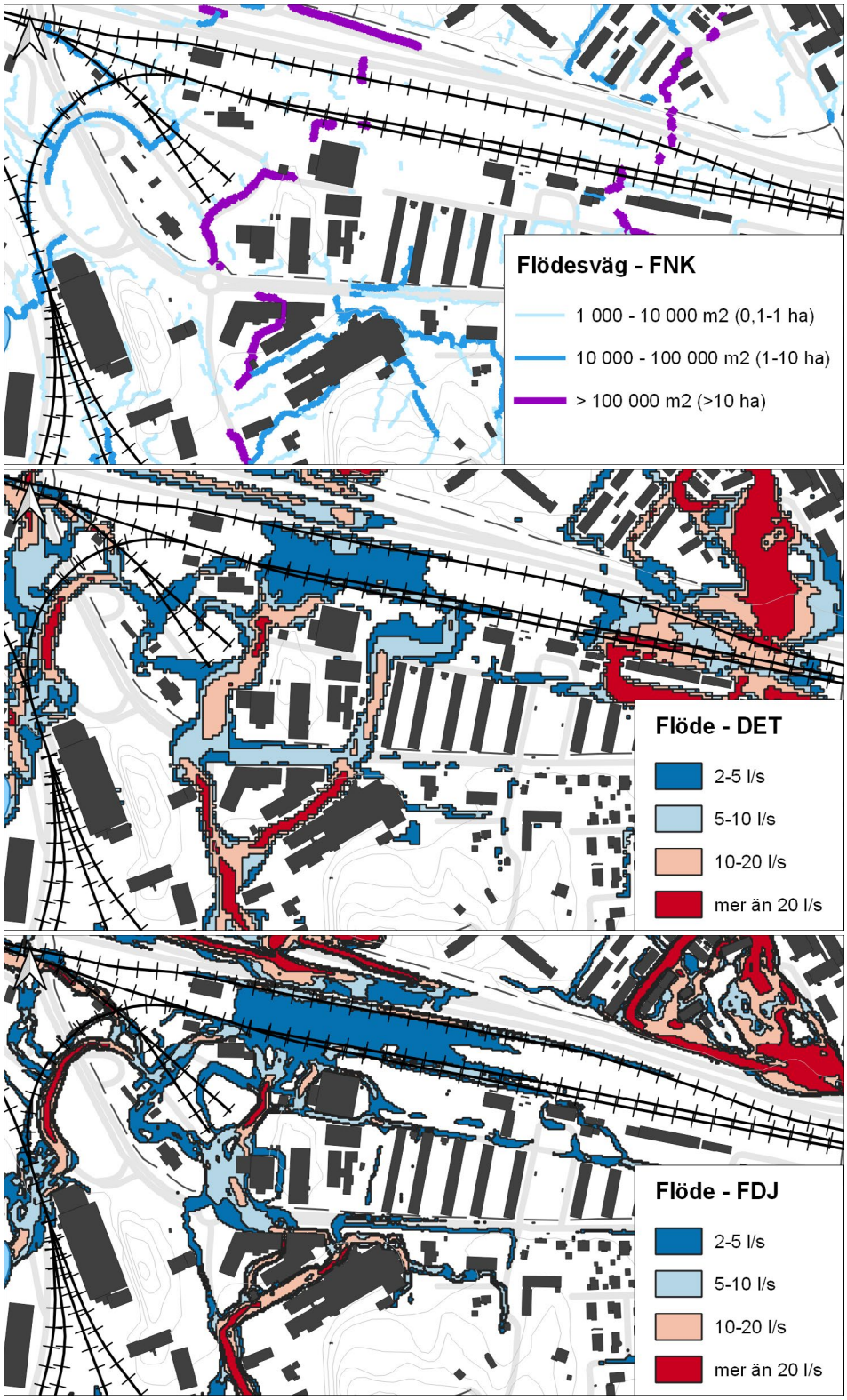
3.4.2 Jämförelser av flöden och rinnvägar

I figur 31 visas resultat för flödesvägar från den förenklade analysen samt maximala flöden från detaljerad respektive fördjupad analys. För flödesvägar visas hur stor yta uppströms som bidrar med avrinning. För detaljerad och fördjupad analys visas maximala ytvattenflöden i varje beräkningscell. Observera att maxflödena inte inträffar samtidigt i hela modellen.

Skillnader maximala flöden mellan detaljerad och fördjupad analys är tydliga. För det aktuella området i figur 31 ger den detaljerade analysen upphov till mer utbredda flöden än den fördjupade analyserna. Skillnaderna i resultat i området beror främst på:

- Upplösning i beräkningsnät.
- Justeringar i höjdmodell (beskrivning av tunnlar, passager med mera).
- Metod för beaktande av ledningsnät.
- Metod för beaktande av infiltration.

Figur 31. Överst visas flödesvägar från den förenklade analysen. I mitten och nederst i figur visas maximala flöden från detaljerad respektive fördjupad analys.

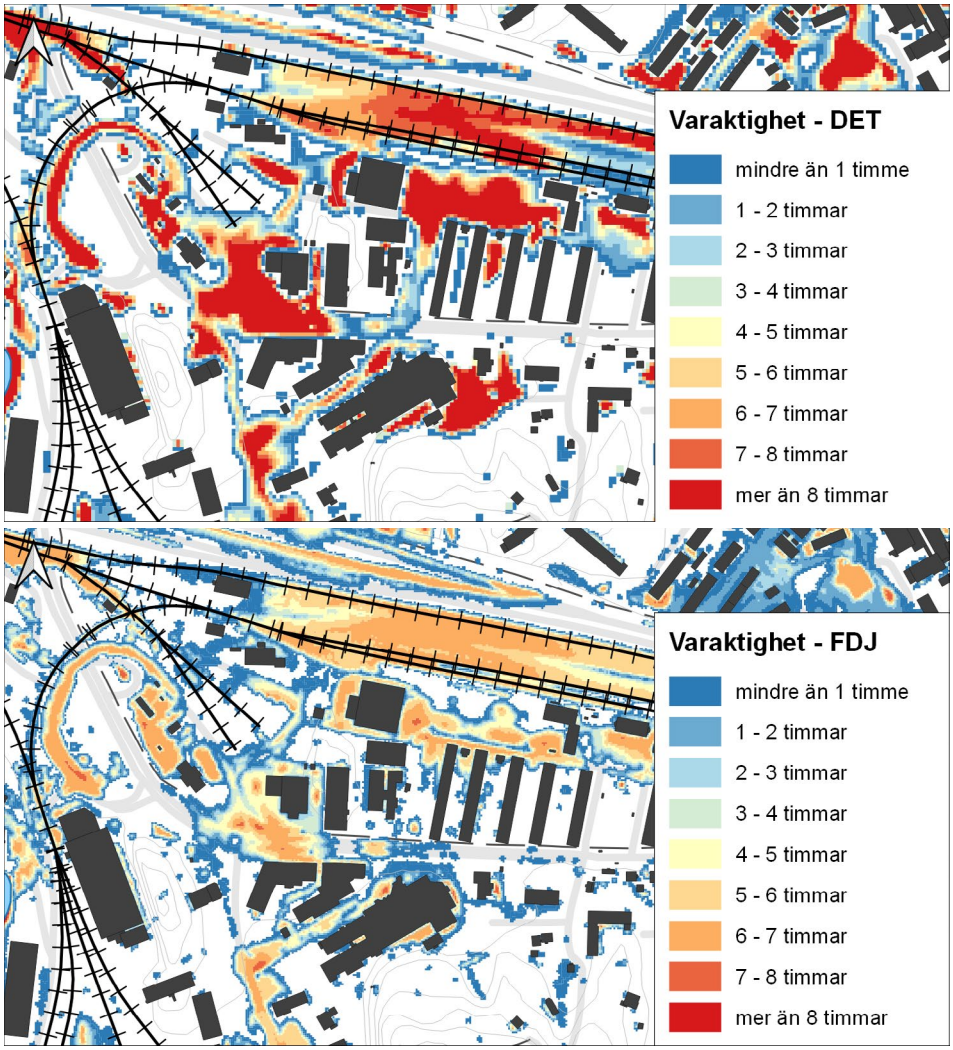


3.4.3 Jämförelser av översvämningsvaraktighet

I figur 32 visas översvämningsvaraktigheten för detaljerad respektive fördjupad analys i Uddevalla tätort. Varaktigheten visar hur länge vattendjupet överstiger 10 cm. Med förenklad analys beaktas ej tidsaspekter varför resultat om översvämningsvaraktighet saknas.

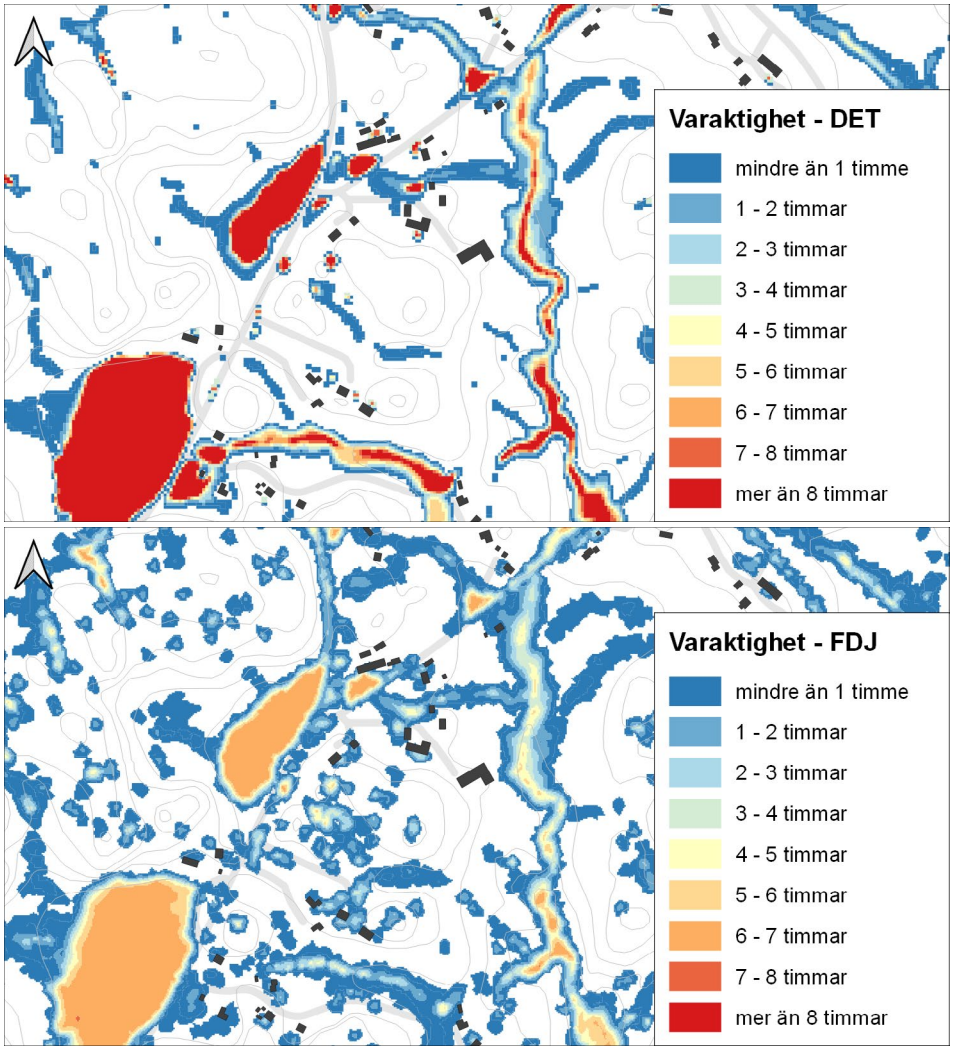
Skillnaden i översvämningsvaraktighet mellan den detaljerade och fördjupade analysen visar att i den detaljerade analysen överskattas översvämningens varaktighet. Metoden för detaljerade analyser innebär att inom tätorter med hårdgjorda ytor kan inte lågpunkter och instängda områden dräneras eftersom ledningsnätet inte beskrivs dynamiskt som i den fördjupade analysen.

Figur 32. Jämförelse av översvämningsvaraktighet i Uddevalla tätort. Överst i figur visas översvämningsvaraktigheter för vattendjup över 10 cm från den detaljerade analysen. Nederst i figur visas motsvarande resultat för fördjupad analys.



I figur 33 visas motsvarande resultat för området Nordmanneröd, nordost om Uddevalla. Eftersom området här till största del består av genomsläppliga ytor samt att ledningsnät inte finns i området påverkas översvämningsvaraktigheten av om och hur fort vatten kan rinna vidare samt infiltrationskapaciteten. Med valda metoder för beskrivning av infiltration ger den detaljerade analysen längre varaktigheter i instängda områden men kortare varaktigheter för övriga områden där vattendjupet överstiger 10 cm.

Figur 33. Jämförelse av översvämningsvaraktighet i Nordmanneröd nordost om Uddevalla. Överst i figur visas översvämningsvaraktigheter för vattendjup över 10 cm från den detaljerade analysen. Nederst i figur visas motsvarande resultat för fördjupad analys.



4. Begränsningar i metodik

I följande rubriker konkluderas de identifierade begränsningarna i metod för respektive tillämpningsnivå. I slutet görs även en utvärdering av hur resultaten från de olika tillämpningsnivåerna kan användas.

4.1 Förenklad analys

Skyfallskarteringar i statiska verktyg går mycket snabbt att genomföra och med relativt litet behov av underlag, men med bekostnad på tillförlitlighet i resultat. Jämfört med detaljerad och fördjupad analys indikeras en mycket omfattande underskattning av potentiella översvämningsrisker för studerad regnvolym.

Nedan listas identifierade begräsningar med förenklade analyser:

- När avdrag för ledningsnät och infiltration görs för hårdgjorda ytor i ett statiskt verktyg beaktas inte att vatten kan rinna från hårdgjorda till genomsläppliga ytor och vice versa. Det innebär att avdrag görs där vattendroppen först faller, vilket medför en begräsning exempelvis om uppströms exploaterade områden har ett utlopp.
- Skyfallskarteringar med statiska verktyg visar hur applicerad volym bidrar till uppfyllnad av lågpunkter. När lågpunkter väl är fyllda ökar inte djupet med regnvolymen. Om justeringar genomförs i höjdmodellen, för att öppna upp passager och kulvertar, försvinner också områden som kan riskera att översvämmas till följd av begränsad avvattningskapacitet. Samtidigt är justeringar av höjdmodellen nödvändig för att kunna beskriva rinnvägar igenom instängda områden.
- Metoden visar inte vatten i rörelse, det vill säga det finns inget vattendjup eller utbredning i flödesvägar (oavsett hur stor volym som appliceras i modellen). Det är en anledning till att metoden, oavsett hur stor regnvolym som belastas, inte kan användas för att visa ett värsta scenario.
- Vattendjup och utbredning tenderar att underskattas i områden
  - som ej är instängda
  - som är flacka
  - nedströms där avdrag gjorts för ledningsnät
  - utmed flödesvägar, eftersom tidsaspekten ej beaktas
  - där terrängjusteringar har skett längsmed hydrografilinjer, eftersom det finns en överkapacitet under broar och vid antagna kulvertar.
- Varaktighet kan ej studeras, eftersom tidsaspekten ej beaktas.

4.2 Detaljerad analys

Detaljerade analyser går förhållandevis snabbt att genomföra. Tillämpningsnivån innebär att det görs förenklingar i beskrivningen av ledningsnät, vattendrag och infiltration. Tidsåtgång kan påverkas av hur antaganden och ansättande av parametrar görs samt vilken programvara som används.

Nedan listas identifierade begräsningar med detaljerade analyser:

- Det finns ett större behov av underlag jämfört med förenklade analyser.
- Dynamiska modeller ger längre simuleringstid än förenklade analyser.
- Med detaljerade analyser kan schablonavdrag användas för att beakta ledningsnät och infiltration. Dessa avdrag innebär att modellen ges en mindre belastning, vilket medför en risk att underskatta översvämningen särskilt i områden nedströms ledningsnät eller flacka genomsläppliga ytor.
- Att beakta ledningsnätets kapacitet genom att tömma modellen i de punkter det finns ett dagvattenintag minskar skillnaden i resultat mellan detaljerad och fördjupad kartering (se tillämpning för Karlstad). Denna metod för att göra avdrag bedöms således ge en bättre beskrivning av ledningsnätets kapacitet än att till exempel göra ett avdrag på nederbördsbelastningen på hårdgjorda ytor, men metoden beaktar ändock inte dynamiken i ledningsnätet som i sin tur kan leda till att avrinningen till nedströms liggande områden underskattas samt avvattningen överskattas i de fall ledningsnätet är fullt.
- Vattendjup och utbredning tenderar att underskattas i områden
  - där terrängjusteringar har skett längs med hydrografilinjer, eftersom det finns en överkapacitet under broar och vid antagna kulvertar.

- Vattendjup och utbredning tenderar att överskattas i områden
  - runt byggnader, eftersom upplösning på beräkningsnätet ger en sämre återgivning av höjdsättning runt byggnader
  - i mindre diken och fördröjningsytor som inte fångas upp på grund av upplösning.

4.3 Fördjupad analys

Vald metod är krävande med avseende på kompetens, tid och datorkapacitet. Den kräver tillgång till detaljerat underlag för ledningsnät, vilket ofta är en begränsande faktor.

Nedan listas identifierade begräsningar med fördjupade analyser:

- Det krävs inte nödvändigtvis mer underlag för en fördjupad analys än en detaljerad, men underlaget förväntas hålla en högre kvalitet för att det ska vara lönt att upprätta avancerade modeller.
- Även om en förhållandevis avancerad beskrivning av infiltration används kvarstår stora osäkerheter kopplade till infiltrationskapaciteten, till följd av brist på tillgänglig information om jordens sammansättning och egenskaper samt den stora variationen i jordarternas infiltrationskapacitet.
- Att koppla en markavrinningsmodell med en ledningsnätsmodell bedöms kunna ge bästa möjliga förutsättningar för skyfallskartering i tätorter. Det är dock ovanligt att information om rännstensbrunnar och tillhörande servisers ledningsdimension och vattengångar finns tillgängliga, vilka i hög grad påverkar intagskapaciteten till ledningsnätet. Det innebär att antaganden måste göras om intagskapaciteten även i kopplade modeller, vilket innebär en osäkerhet – även om den är betydligt mindre än vid andra typer av avdrag för ledningsnätets kapacitet.

4.4 Resultatens användningsområden

Nedan följer en utvärdering av vad resultaten från de olika tillämpningsnivåerna kan användas till. Utvärderingen har gjorts med stöd av genomförda tillämpningar och utifrån vanliga användningsområden, och syftar till att belysa hur de osäkerheter som medföljer respektive metod inverkar på fortsatta analyser som baseras på skyfallskarteringar. Utvärderingen av resultatens användningsområden summeras i slutet i Geografisk avgränsning som kopplas till respektive typ av resultat.

Skador på byggnader
Med förenklade analyser är resultat för vattendjup och utbredning begränsade till lågpunktens storlek. Det innebär att risk för skador på byggnader enbart kommer att indikeras för byggnader som är lokaliserade i instängda områden. Exempelvis kommer byggnader som ligger mitt i flödesvägar inte att indikeras vara i risk.

Resultaten från en detaljerad analys kommer sannolikt indikera mer översvämmade byggnader än vad en motsvarande en kartering i en fördjupad analys visar. Detta främst till följd av skillnader i beräkningsnätets upplösning.

Tillgänglighet
Förenklade analyser ger inte ett lämpligt underlag för att utvärdera tillgänglighet. Detta eftersom karteringen inte visar något djup eller utbredning på vägar om de inte passerar genom instängda områden. I figur 21 visas hur den förenklade analysen inte visar någon översvämning på gatan väster om flerbostadshusen, till skillnad från den detaljerade och fördjupade analysen.

Risk för människor

Endast resultat från detaljerade och fördjupade analyser kan användas för att utvärdera fara för människor, eftersom en sådan riskanalys även bör beakta flöden.

Utvärdering av skyfallsåtgärder

Förenklade analyser är lämpliga för att utvärdera höjdsättning och studera hur avrinning till och från en anläggning fungerar. För att dimensionera eller kontrollera projekterade anläggningar med avseende på fördröjningsvolymer, dimension, avtappning och så vidare rekommenderas i stället fördjupade analyser.

Detaljerad analys kan, beroende av anläggningens storlek, vara för grov för att fånga upp diken och mindre fördröjningsytor. Fördjupade analyser bedöms vara bättre lämpade för att beskriva och utreda öppna anläggningar för hantering av dagvatten och skyfall.

Tabell 20. Utvärdering av resultat för tillämpningsnivåer

Resultat	Förenklad analys	Detaljerad analys	Fördjupad analys
Vattendjup och utbredning	Begränsad till lågpunktens storlek. Riskerar att underskatta översvämningsrisker om höjdmodellen justeras för passager och trummor.	Sämre runt byggnader och i mindre diken och anläggningar. Ger lokalt mindre översvämning på grund av schablonavdrag för infiltration och ledningsnät.	Bästa resultat för djup och utbredning fås med fördjupade analys.
Flöden och rinnvägar	Visar rinnvägar, men inte utbredning och flöden. Kräver justering av höjdmodell för att anpassa rinnvägar till tunnlar, kulvertar med mera.	Kräver justeringar av höjdmodell för att anpassa rinnvägar till tunnlar, viadukter, kulvertar med mera.	Bästa resultat för flöden fås med fördjupade analys.
Översvämningsvaraktighet	Visas ej.	Ger ej ett tillförlitligt resultat för lågpunkter som avvattnas till ledningsnät eftersom ledningsnätet inte modelleras dynamiskt.	Bästa resultat för översvämningsvaraktighet fås i kopplade modeller.

Bilaga 2 | Exempel på beställning av skyfalls-kartering

Tabell 21. Exempel på beställning av skyfallskartering

Innehåll	Instruktion
Formalia	Ange: • Benämning och datum på förfrågan. • Upphandlingsform. • Kontaktuppgifter för frågor förande förfrågan. • Mottagare av offert. • Sista datum för offert. • Fakturering.
Beskrivning	Ange: • Syftet med skyfallskarteringen (Vad ska skyfallskarteringen användas till? Vilka frågor ska skyfallskartering svara på?) • Önskad tillämpningsnivå (förenklad, detaljerad eller fördjupas analys?)
Geografisk avgränsning	Vilket geografiskt område som skyfallskarteringen minst ska omfatta, och vilka eventuella områden som har högre krav på detaljeringsgrad.
Programvara	Eventuella önskemål om programvara.
Skyfallshändelse/-er	Eventuella önskemål om val av skyfallshändelse (återkomsttid).
Klimatförändringar	Eventuella önskemål om klimatscenario och tidshorisont.
Resultat	Önskade resultat, exempelvis kring: • Typ (exempelvis djup, hastigheter, flöden, varaktighet, flödesriktning). • Filformat. • Upplösning. • Kompatibilitet med programvaror. • Rumslig upplösning (ska resultaten delas upp för att minska filstorlekar och på så sätt underlätta hantering). • Tidsupplösning för dynamiska resultat.
Bearbetningar av resultat	Eventuella bearbetningar som önskas, till exempel: • Sammanslagningar av resultatfiler för delområden. • Önskad klassificering av resultat (exempelvis om andra intervall än de som anges i tabell 18 önskas).
Leverans av resultat	Eventuella önskemål om format, till exempel: • Resultat i geodatabas. • PDF-kartor.
Tidplan	Önskad tidplan för skyfallskarteringen.
Underlag	Vilka underlag som kan tillhandahållas av beställare.
Tilldelning	Hur utvärdering av offerter och val av leverantör sker.
Bilaga	Karta med inringade områden som skall karteras samt vilka eventuella områden som har högre krav på detaljeringsgrad.

Bilaga 3 | Sammanfattning rekommendationer

Tabell 22. Sammanfattning av rekommendationer för skyfallskarteringar av tätorter

Moment	Parameter	Förenklad analys	Detaljerad analys	Fördjupad analys
Beräkningsnät	Upplösning	Störst: 1 x 1 m / 1 m^2	Minst: 2 x 2 m / 4 m^2 Störst: 8 x 8 m / 64 m^2	Minst: 1 x 1 m / 2 m^2 Störst: 2 x 2 m / 4 m^2
Råhet	Mannings tal	Varierande med markanvändningen.	Se förenklad analys.	Se förenklad analys.
Infiltration	Metod för beskrivning av infiltration.	Generellt schablonavdrag.	Schablonavdrag som varierar med markanvändning.	Schablonavdrag som varierar med markanvändning, eller infiltrations-modul.
Vattendrag	Metod för beskrivning av vattendrag.	Förenklad analys beaktar ej vatten-drag. Förenklad analys genomförs ej där vattendrag är viktiga.	Detaljerad analys beaktar ej vatten-drag. Detaljerad analys genomförs ej där vattendrag är viktiga.	Koppling till vattendragsmodell eller detaljerad beskrivning i höjdmodell rekommenderas.
Ledningsnät	Metod för beskrivning av ledningsnät.	Schablonavdrag, för regn med 100-års återkomsttid eller mer, annars fördjupad analys om ledningsnät är viktigt.	Se förenklad analys.	Koppling till led-ningsnätsmodell.
Nederbörd	Årlig sanno-likhet/åter-komsttid.	Väljs med hänsyn till karteringens syfte.	Se förenklad analys.	Se förenklad analys.
Nederbörd	Klimatfaktor	Väljs med hänsyn till karteringens syfte och rådande kunskapsläge.	Se förenklad analys.	Se förenklad analys.
Nederbörd	Nederbörds-statistik	Väljs med hänsyn till karteringens syfte och rådande kunskapsläge.	Se förenklad analys.	Se förenklad analys.
Nederbörd	Typregn	Blockregn	CDS-regn eller statistisk form.	Se detaljerad analys.
Känslighets-analys	Rekom-menderad parameter för känslighets-analys.	Med/utan avdrag för ledningsnät och infiltration.	Minst två skyfalls-händelser.	Se detaljerad analys.

Bilaga 4 | Modelldokumentation

Tabell 23. Exempel på modelldokumentation som ger en översiktlig beskrivning av modellen

Administrativ information	°
Modellnamn	Filnamn
Upprättad av	Namn, Datum
Granskad av	Namn, Datum
Utbredning	Geografiskt område
Modellen lämpar sig för att användas till…	X°
Övrig kommentar, till exempel bakgrunden till modellens framtagande	X
Konsultinformation	°
Projektnamn	X
Projektnummer	X
Projektledare hos konsult	Namn
Modellkonfiguration	°
Programvara	°X
Programversion	°X
Koppling till ledningsnät (ja/nej)	°X
Koppling till vattendrag (ja/nej)	°X
Beräkningsnät	°
Geografisk area	X km^2
Antal beräkningsceller/element	X st
Minsta beräkningscell/element	X m^2
Största beräkningscell/element (om annat än minsta)	X m^2
Namnkonvention	°
Simuleringsresultat	Ex. ID_Scenario_ Händelse_Version
ID	Ex. "Tatort_X"
Scenario	Ex. "BEF", "ATG1", "FRAMTIDA"
Händelse (återkomsttid, klimatfaktor)	Ex. "100KF140"
Version	Ex. "001" eller simuleringsdatum

Simuleringar	Simulerings-ID
Återkomsttid (år)	X
Klimatfaktor (-)	X
Regnvaraktighet (timmar)	X
Simuleringstid (timmar)	X
Eventuella övriga variationer mellan simuleringar	X
Kalibrering och känslighetsanalyser	°
Ange vilken händelse som eventuellt har kalibrerats	X
Ange vilka känslighetsanalyser som eventuellt har genomförts	X

Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 **www.msb.se**
Publ.nr MSB2260 – november 2023 ISBN 978-91-7927-435-1